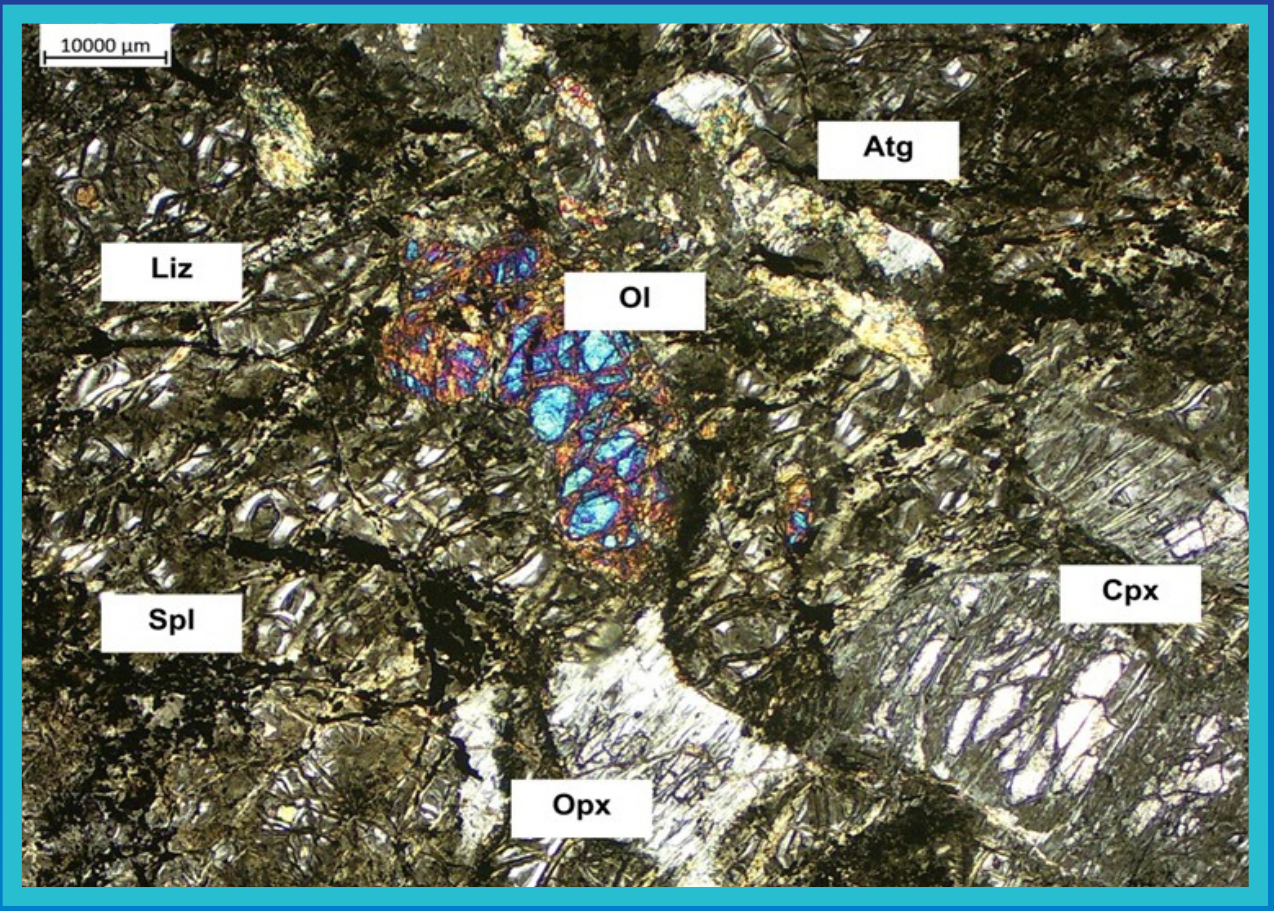
ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

buletin
SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 18 No. 3, November 2023



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Badan Geologi
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 18	No. 3	Halaman 145 - 215	Bandung November 2023	Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 200/M/KPT/2020

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Foto Mikrografi Harsburgit F060, sayatan X nikol
(ol olivine, opx orthopiroksen, cpx klinopiroksen, liz lizardit, atg antigorite, spl spinel).
(Fasya Zahra Fauziyyah Ramdani, dkk., 2023)

ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

buletin
SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 18 Nomor 3, November 2023

Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 200/M/KPT/2020

Buletin Sumber Daya Geologi merupakan jurnal ilmiah terakreditasi Kemenristekdikti bidang mineral, energi fosil, dan panas bumi yang berkaitan dengan kajian sumber daya. Majalah ini terbit tiga nomor dalam satu tahun pada bulan Mei, Agustus dan November.

DEWAN REDAKSI

Editor In Chief
Ir. Denni Widhiyatna, M.T.

Managing Editor
Eko Suryanto, S.Kom.
Resmi Novianti, S.Kom.
Ernawati, S.I.Pust.
Rahayu Gesang Kami
Riad Bakti Padilah, S.AP.

Editorial Board
Fitri Purnamasari Liveta, S.A.P.
Qomariah, S.Kom., M.T.
Ir. Herry Rodiana Eddy, M.Si.
Ir. Prima Muharam Hilman, M.Sc.
Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi
Ir. Asep Suryana
Ir. Sri Widodo
Ir. Teuku Ishlah
Ir. Bambang Pardiarto
Dr. Siti Sumilah Rita Susilawati, S.T., M.Sc.
Ir. Rina Wahyuningsih
Fatimah, S.T., M.Sc.
Asep Sugianto, S.T., M.T.
Indra Sukmayana, S.T.

Peer-Reviewer
Prof. Dr.Ir. Binarko Santoso, M.Sc
Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D
Prof. Euis Tintin Yuningsih, S.T., M.T., Ph.D
Dr. Ir. Rukmana Nugraha Adhi, DEA
Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc.
Dr. Eng. Agus Didit Haryanto, Ir., M.T.
Ir. Sabtanto Joko Suprapto, M.T.
Edi Suhanto, S.Si, M.T.
Dr. Asep Kurnia Permana, S.T., M.Sc

Alamat sekretariat dan pengiriman naskah
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
Bagian Umum
Jl. Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Telepon : (022) 520 2698, 522 6270
Fax : (022) 522 6270, 522 6263
Email : buletinpsdg@gmail.com
OJS : http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, karena atas izin-Nya pada Bulan November 2023, Buletin Sumber Daya Geologi kembali hadir sebagai volume 18 nomor.3. Edisi saat ini berisi lima makalah ilmiah yang mengkaji tentang mineral dan panas bumi. Para penulis berasal dari Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung dan Universitas Negeri Bengkulu.

Tiga makalah tentang mineral pada edisi ini seluruhnya mengulas tentang komoditas besi yaitu kajian potensi dan karakteristik pasir besi di Tasikmalaya, Jawa Barat yang mengungkapkan tentang estimasi sumber daya dan karakteristiknya. Makalah kedua mengulas tentang karakteristik bijih besi menggunakan analisis mineralogi dan geokimia. Sedangkan makalah lainnya mengulas tentang lateritisasi dan pengkayaan unsur Fe-Ni-Co pada batuan harsburgit di Pulau Sebuku, Provinsi Kalimantan Selatan.

Dua makalah tentang panas bumi berupa kajian delineasi nilai resistivitas di lapangan geothermal tambang sawah menggunakan metode magnetotellurik dan pemanfaatan metode Sistem Informasi Geografis untuk menentukan lokasi sumur eksplorasi panas bumi dengan daerah kajian di Cisolok-Cisukarame, Sukabumi, Jawa Barat.

Pada edisi terakhir di tahun 2023 ini, Buletin Sumber Daya Geologi dilengkapi dengan Pedoman Penulisan, untuk mempermudah para penulis dalam menyusun artikel ilmiah sesuai dengan standar yang ditentukan. Selain itu, rubrik Galeri Foto selalu hadir yang berisi foto-foto kegiatan lapangan dan singkapan-singkapan yang menarik untuk disimak oleh para pembaca.

Kami mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi serta manajemen yang telah memfasilitasi pengelolaan Buletin Sumber Daya Geologi. Selain itu, ucapan terima kasih disampaikan kepada para Penulis, Editor dan Mitra Bestari atas kontribusinya sehingga Buletin Sumber Daya Geologi selalu hadir untuk para pembaca dengan menyajikan makalah-makalah ilmiah yang berkualitas.

Salam Hormat,

Dewan Redaksi

ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

buletin
SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 18 Nomor 3, November 2023

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

145 - 154 **DELINEASI NILAI RESISTIVITAS DI LAPANGAN PANAS BUMI TAMBANG SAWAH MENGGUNAKAN METODE MAGNETOTELLURIK**
DELINEATION OF RESISTIVITY VALUE IN GEOTHERMAL TAMBANG SAWAH USING MAGNETOTELLURIC METHOD
Andre Rahmat Al Ansory, Hana Raihana, Vinki Loverly Pritama, Wellly Saputri, Faritz Bagda Maghribi, Halauddin, Budi Harlianto, Muchammad Farid, dan Arif Ismul Hadi Nanang Sugianto

155 - 169 **SUMBER DAYA DAN KARAKTERISTIK ENDAPAN PASIR BESI DI CIHERAS, KABUPATEN TASIKMALAYA**
RESOURCES AND CHARACTERISTICS OF IRON SAND DEPOSITS IN CIHERAS, TASIKMALAYA DISTRICT
Teuku Ishlah, Suwahyadi, dan Dwi Nugroho Sunuhadi

171 - 182 **DERAJAT LATERITISASI DAN PENGAYAAN UNSUR FE-NI-CO PADA BATUAN HARSBURGIT DI PULAU SEBUKU, KALIMANTAN SELATAN**
DEGREE OF LATERITIZATION AND ENRICHMENT OF FE-NI-CO ELEMENTS IN HARSBURGITE ROCKS ON SEBUKU ISLAND, SOUTH KALIMANTAN
Fasya Zahra Fauziyyah Ramdani, Ayumi Hana Putri Ramdhani Andhi Cahyadi, Wahyu Widodo, dan Ernowo

183 - 196 **KARAKTERISTIK ENDAPAN BIJIH BESI LATERIT PADA BLOK BARAT DAN BLOK TIMUR PT SILO, KABUPATEN KOTABARU, KALIMANTAN SELATAN BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA DAN MINERALOGI**
CHARACTERISTICS OF LATERITE IRON ORE DEPOSIT IN WEST BLOCK AND EAST BLOCK OF PT SILO, KOTABARU DISTRICT, SOUTH KALIMANTAN BASED ON GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL ANALYSIS
Ayumi Hana Putri Ramadhani, Andi Cahyadi, Tatik Handayani, Suwahyadi

197 - 215 **REKOMENDASI AREA LOKASI TAPAK SUMUR EKSPLORASI PANAS BUMI MENGGUNAKAN PEMODELAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI DAERAH PROSPEK CISOLOK-CISUKARAME, SUKABUMI, JAWA BARAT**
RECCOMENDATION FOR GEOTHERMAL EXPLORATION WELLPAD AREA USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM MODELING IN CISOLOK-CISUKARAME PROSPECT, SUKABUMI, WEST JAVA
Husin Setia Nugraha, Dadan Wildan, Rina Wahyuningsih, dan Reynold Tampubolon

ABSTRAK MAKALAH
Oleh : Redaksi

GALERI FOTO
Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH
Oleh : Redaksi

DELINEASI NILAI RESISTIVITAS DI LAPANGAN PANAS BUMI TAMBANG SAWAH MENGGUNAKAN METODE MAGNETOTELLURIK

DELINEATION OF RESISTIVITY VALUE IN GEOTHERMAL TAMBANG SAWAH USING MAGNETOTELLURIC METHOD

Andre Rahmat Al Ansory, Hana Raihana, Vinki Loverly Pritama, Wellly Saputri, Faritz Bagda Maghribi, Halauddin, Budi Harlianto, Muchammad Farid, dan Arif Ismul Hadi Nanang Sugianto
Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu
nanang.s@unib.ac.id

ABSTRAK

Gambaran struktur bawah permukaan lapangan panas bumi Desa Tambang Sawah telah terpetakan. Penelitian ini bertujuan untuk mendelineasi nilai resistivitas di daerah Desa Tambang Sawah, Kabupaten Lebong, Provinsi Bengkulu berdasarkan pengukuran magnetotellurik yang hasilnya nanti dapat mengidentifikasi nilai resistivitas rendah, menengah, dan tinggi untuk menginterpretasikan panasbumi di daerah penelitian tersebut. Metode magnetotelurik (MT) dengan sensor elektrik dan magnet digunakan untuk mengumpulkan data di lapangan. Ada dua sensor listrik berarah horizontal (Ex, Ey) dan tiga buah sensor magnetik yang berarah horizontal (Hx, Hy) dan vertikal (Hz). Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah nilai resistivitas 20ohm.m sampai dengan 50 ohm.m dianggap sebagai reservoir, sedangkan resistivitas 0,26ohm.m sampai dengan 0,8 ohm.m dianggap sebagai *caprock*, dan resistivitas lebih besar dari 300 ohm.m dianggap sebagai batuan sumber panas (*hot rock*).

Kata kunci: *geothermal*, magnetotellurik, resistivitas, reservoir, *caprock*, *hot rock*, Tambang Sawah

ABSTRACT

The subsurface structure of the geothermal field in Desa Tambang Sawah has been mapped. This research aims to delineate the resistivity values in the area of Tambang Sawah Village, Lebong Regency, Bengkulu Province based on magnetotelluric measurements which can later identify low, medium, and high resistivity values to interpret geothermal in the research area. The magnetotelluric (MT) method with electrical and magnetic sensors is used to collect data in the field. There are two electrical sensors in horizontal direction (Ex, Ey) and three magnetic sensors in horizontal direction. (Hx, Hy) and vertical (Hz). The results obtained from this study are that resistivity values of 20-50 ohm.m are considered as reservoirs, while resistivity of 0.26-0.8 ohm.m is considered as caprock, and resistivity greater than 300 ohm.m is considered as hot rock.

***Keywords**: Keywords: geothermal, magnetotelluric, resistivity, reservoir, caprock, hot rock, Tambang Sawah*

PENDAHULUAN

Secara geologi Indonesia merupakan wilayah dengan potensi panas bumi yang cukup melimpah, hal itu dikarenakan Indonesia berada pada zona persambungan tiga lempeng yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Lempeng Pasifik sehingga ditandai dengan keberadaan cincin api *(ring of fire)* atau banyak gunung api yang aktif (Andini dkk., 2020).

Kabupaten Lebong merupakan kabupaten yang berada di Provinsi Bengkulu, yang terletak di zona sesar Sumatera *(Sumatra fault zone)* hal tersebut dinyatakan secara geologi. Daerah Tambang Sawah di Lebong Utara merupakan salah satu wilayah di Sumatera yang dilintasi zona patahan ini (Mukazairo dkk., 2020). Seiring berjalannya waktu, pertumbuhan industri dan penduduk setiap tahunnya meningkatkan konsumsi energi, termasuk listrik. Salah satu sumber energi terbarukan yang bisa dimajukan adalah energi panas bumi (Andini dkk., 2020).

Sumber energi panas bumi berasal dari magma di dalam bumi. Magma secara konduktif menghantarkan panas ke batuan di sekitarnya (Suparno, 2009). Panas bumi pada umumnya berkaitan dengan mekanisme pembentukan magma dan kegiatan vulkanisme. Sistem panas bumi dengan suhu yang tinggi, umumnya terletak di sepanjang zona vulkanik punggungan pemekaran benua, di atas zona subduksi seperti di Indonesia, dan anomali pelelehan di dalam lempeng. Batas-batas pertemuan lempeng yang bergerak merupakan pusat lokasi untuk munculnya sistem hidrotermal magma. Transfer energi panas secara konduktif pada lingkungan tektonik lempeng diperbesar oleh gerakan magma dan sirkulasi hidrotermal (Kasbani, 2009). Adapun persyaratan utama untuk pembentukan sistem panasbumi (*hidrotermal*) adalah sumber panas yang besar (*heat source*), reservoir untuk mengakumulasi panas, dan lapisan penudung terakumulasinya panas (*cap rock*). Dalam sistem hidrotermal ini, panas dapat berpindah secara konduksi dan konveksi (Kasbani, 2009).

Energi panas bumi merupakan energi yang ramah lingkungan dibandingkan dengan energi lainnya. Keberadaan sistem panas bumi dapat diperkirakan dengan melihat nilai restivitas batuan yang membentuk sistem panas bumi tersebut. Pembentukan sistem panas bumi di permukaan meliputi *warm ground*, *steaming ground*, kolam lumpur panas, kolam air panas, *fumarole*, sumber air panas, rembesan, geyser, dan daerah altrasi hidrotermal yang berkaitan dengan proses geologi dan model sistem panas bumi yang menaikkan temperatur air di bawah permukaan tanah sehingga menjadi uap panas bumi adalah magma.

Aliran Konveksi merupakan proses sirkulasi arus magma di bawah bumi saat mentransfer panas inti ke litosfer sehingga lapisan-lapisan di kerak bumi mengalami pergerakkan. Mantel bumi dipanaskan dari bawah, didinginkan di atas, dan suhu keseluruhannya menurun dalam jangka waktu yang lama. Gaya konveksi mantel bumi ini ditimbulkan karena adanya tekanan panas yang diciptakan oleh peluruhan radioaktif pada inti bumi serta panas yang tersisa dari pembentukan Bumi. Arus konveksi juga mentransfer material yang lebih padat dan lebih dingin dari kerak bumi ke interior bumi melalui subduksi, meskipun radiasi energinya kecil karena radiasi matahari di permukaan dan bertambahnya jarak dari margin lempeng divergen. Aliran konveksi inilah yang menyebabkan munculnya magma ke permukaan yang berusaha keluar melalui rekahan yang disebabkan oleh temperatur dan tekanan yang tinggi (Taufiquddin, 2014).

Salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menentukan struktur sistem bawah permukaan bumi di zona panas bumi adalah metode magnetotellurik (MT), sebab metode tersebut dapat mengetahui lapisan bawah permukaan pada kedalaman kurang lebih 8.000 m dimana terdeteksi keberadaan magma di kedalaman tersebut yang menjadi sumber panas dari suatu sistem panas bumi dan relatif jauh di dalam bentuk sistem panas bumi lainnya (Wulandari dkk., 2017). Metode magnetotellurik merupakan metode pasif yang memberikan gambar tentang sebaran sifat kelistrikan batuan bawah permukaan bumi dengan menggunakan interaksi gelombang elektromagnetik (Ramdhani dkk., 2017).

GEOLOGI

Berdasarkan Fisiografi Regional Pulau Sumatera, menurut (Bemmelen, 1969), daerah ini termasuk ke dalam Zona Pegunungan Barisan, dimana pada bagian intinya terdapat batuan granit yang mengindikasikan adanya aktivitas magma di daerah penelitian. Batuan beku granit daerah penelitian termasuk ke dalam Batuan Terobosan (tmgr) yang memiliki unsur Tersier. Daerah Bengkulu merupakan cakupan Cekungan Bengkulu dan Penggunungan Bukit Barisan (Sri dkk., 2009). Sedimentasi Cekungan Bengkulu telah menghasilkan serangkaian stratigrafi Formasi Seblat, Formasi Lemau, Formasi Simpangaur dan Formasi Bintunan. Proses tektonik inilah yang membentuk cekungan antar penggunungan (Iskandar, 2008). Kabupaten Lebong merupakan jajaran bukit barisan yang memiliki ketinggian antara 500 mdpl sampai dengan 1.000 mdpl (Arief dkk., 2018).

Berdasarkan hasil penelitian khusus tentang analisis batuan petrogenesa granitik di dalam dan sekitar area Tambang Sawah, peneliti sampai pada kesimpulan bahwa batuan granit berada dalam fase pegmatik-pneumatolitik dengan tipe magma asam dan jenis magma kalk-alkalin pada suhu rata-rata 800°C sampai dengan 400°C. Struktur sesar yang dapat dijumpai pada struktur geologi daerah penelitian antara lain: kekar, sesar *slip* Air Putih dan sesar Batang Ketahun yang memiliki umur Miosen akhir, saat gaya utama bergerak relatif utara-selatan, merupakan saat terbentuknya struktur geologi di daerah penelitian (Putra dkk., 2017).

Di daerah penelitian ini terdapat beberapa jenis formasi batuan, antara lain:

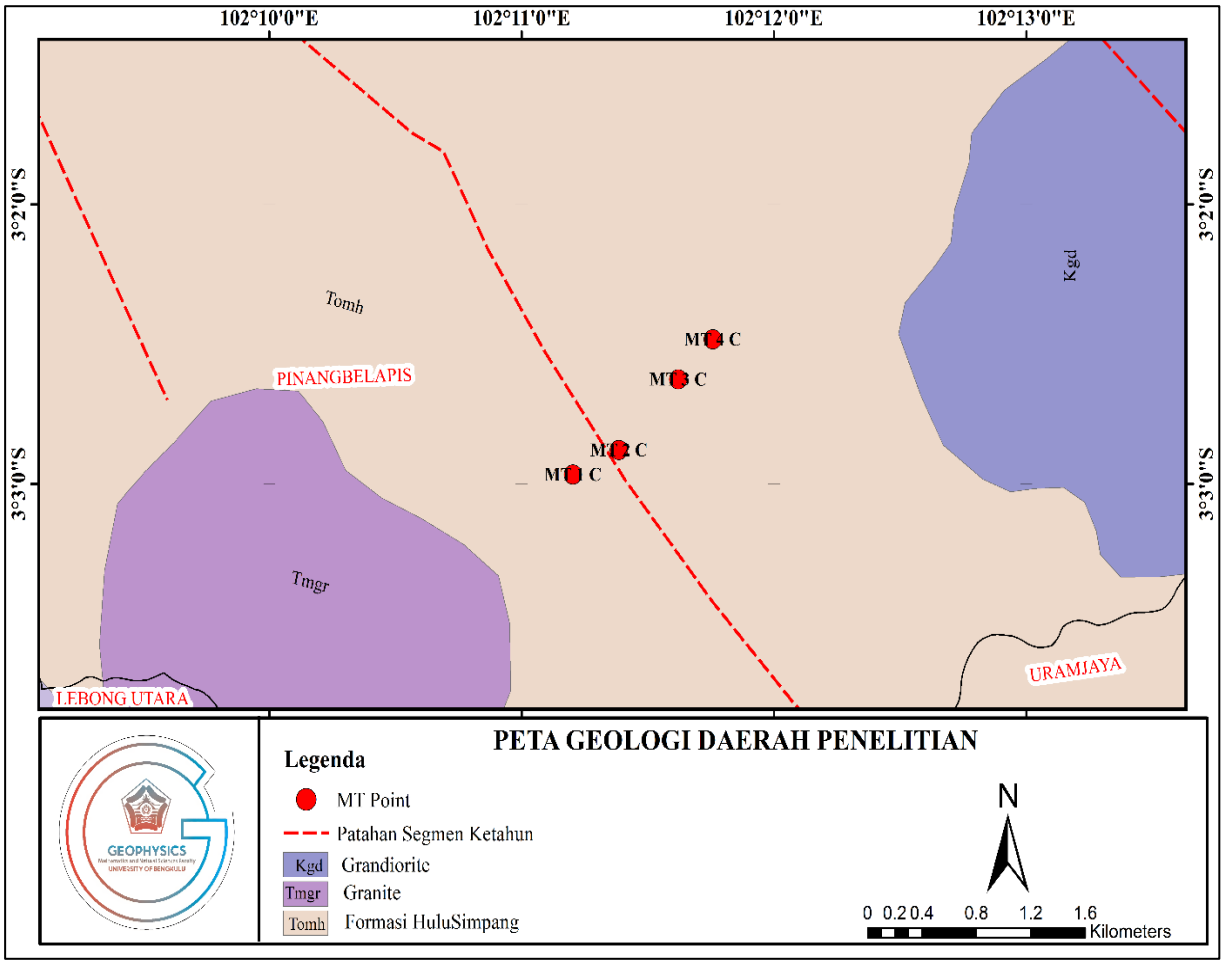
- Formasi Hulusimpang: Formasi Hulusimpang tersusun atas lava, tufa terubah, dan breksi vulkanik serta tersusun oleh batuan andesit hingga basal. Satuan formasi ini diendapkan pada kala Oligosen Akhir - Miosen Awal di daerah transisi darat-laut dangkal.
- Formasi Seblat: Formasi Seblat berumur Oligosen Akhir - Miosen Tengah. Bagian bawah satuan ini terdiri dari batupasir, sebagian komponen karbonat, dan bagian tengah terdiri dari batugamping dan batulempung. Bagian atas terdiri dari serpih batulempung, konglomerat, tufa, dan napal.
- Formasi Lemau: Formasi Lemau terdiri dari breksi dengan sisipan batupasir tufaan dengan komponen moluska di sisi bawah. Sisi atas terdiri dari batu pasir dan batupasir tufaan dengan sisipan batulempung dan batugamping. Satuan formasi ini diendapkan diendapkan di daerah laut dangkal pada Miosen Tengah-Miosen Akhir.
- Formasi Bintunan: Formasi Bintunan terdiri dari konglomerat, breksi, danbatulempung tufaan dengan lapisan lignit tipis. Berdasarkan satuan stratigrafi, batuan. Formasi Bintunan diendapkan pada daerah transisi air payau pada kala Plio-Plistosen.
- Formasi Simpangaur: Formasi Simpangaur terdiri dari breksi dan konglomerat dengan sisipan batupasir dan batubara pada bagian bawah. Sisi atas adalah batulanau dan batulempung, yang mengandung moluska air tawar. Satuan formasi batuan ini berumur Miosen Akhir-Miosen Awal (Gafoer, s., T.C. Amin., 2007).

METODOLOGI

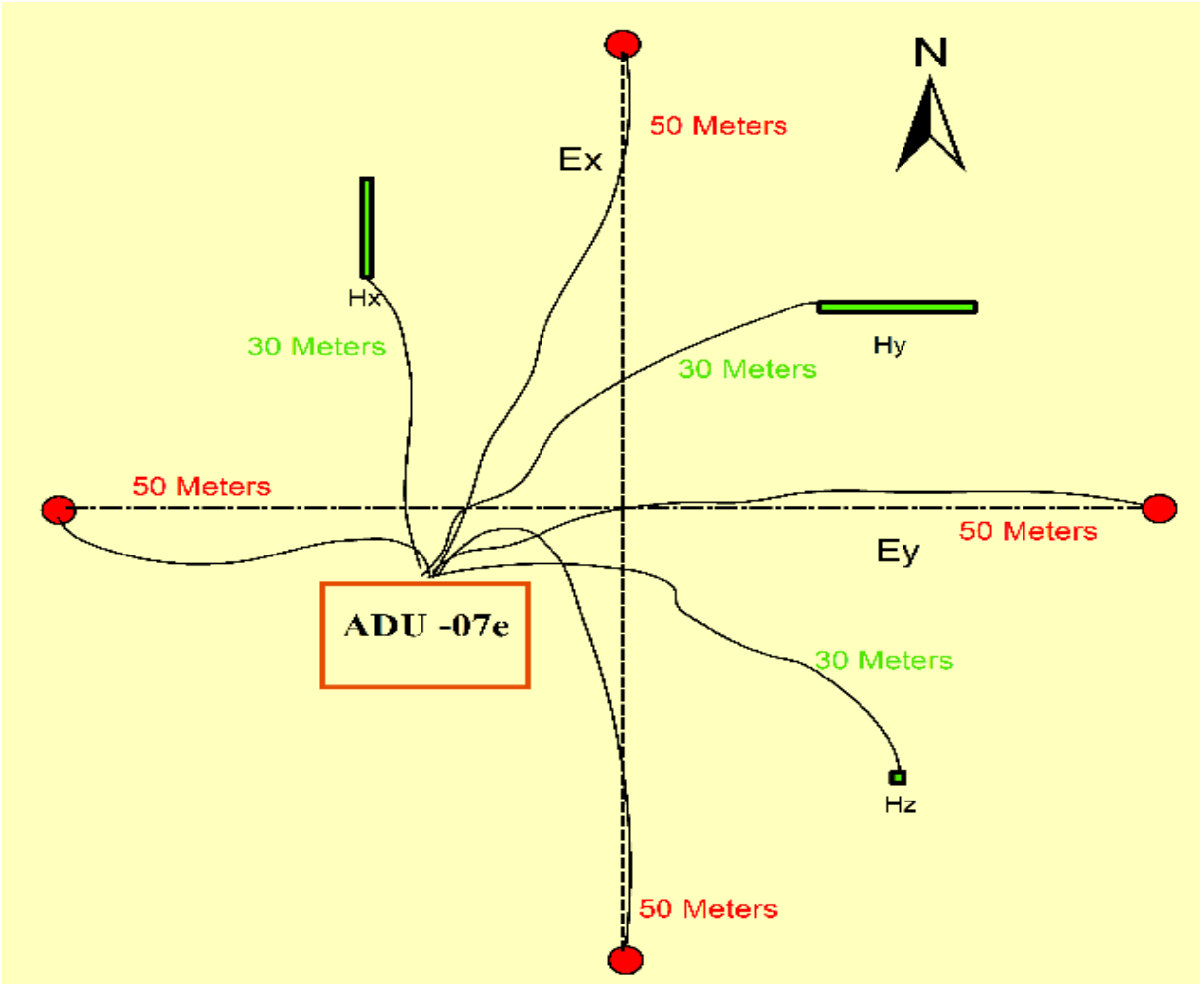
Metode Magnetotelluric (MT) adalah eksplorasi elektromagnetik (EM) pasif yang mengukur komponen ortogonal dari medan listrik dan magnetik di permukaan bumi. Gambar 1 menunjukkan pengaturan MT yang khas. Variasi yang dihasilkan secara alami dalam medan magnetik bumi adalah medan sumber, memberikan spektrum yang luas dan terus menerus dari gelombang Elektromagnetik yang menginduksi arus di dalam bumi. Arus

induksi ini berkontribusi pada medan yang diukur di permukaan dan bertahan informasi tentang struktur konduktivitas bawah permukaan mulai dari beberapa puluh meter hingga kedalaman ratusan kilometer. Pengaturan MT dalam sistem koordinat internal. Pengaturan ini mengukur medan listrik dalam arah horizontal ortogonal dan medan magnetik dalam arah vertikal dan horizontal ortogonal (Rosenkjær, 2011).

Struktur konduktivitas listrik bumi bisa diselidiki menggunakan medan elektromagnetik alami. Pada metode magnetotellurik yang memiliki frekuensi di atas 1 Hz merupakan badai petir, sementara yang memiliki frekuensi sebagian besar sinyal di bawah 1 Hz disebabkan karena sistem magnetosphere oleh aktivitas matahari. Frekuensi yang digunakan metode MT berkisaran 10^{-5}Hz – 10^{3}Hz (Fitrida dkk., 2015).



Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian



Gambar 2. Susunan MT dalam sistem koordinat internal (Rosenkjær, 2011)

Persamaan umum yang menjabarkan sifat gelombang EM yang digunakan persamaan Maxwell (Hendra, 2013) yaitu terdiri atas:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{(Hukum Faraday)} \qquad (1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \text{(Hukum Ampere)} \qquad (2)$$

$$\nabla \cdot D = \frac{P}{zo} \quad \text{(Hukum Colomb)} \qquad (3)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad \text{(Hukum Fluks Magnet)} \qquad (4)$$

dimana *E* : medan listrik (Volt/m), *B* : fluks atau induksi magnetik (Weber/m^2 atau Tesla), *H* : medan magnet (Ampere/m), *J* : rapat arus (Ampere/m^2), *D* : perpindahan listrik (Coulomb/m^2), p/e_0 rapat muatan listrik (Coulomb/m^3). Pada persamaaan pertama yaitu hukum Faraday, yang menjabarkan bahwa medan listrik akan berubah seiring waktu jika induksi medan magnet berubah. Menurut hukum Ampere, ada sumber arus listrik dan medan magnet dihasilkan ketika medan listrik berubah seiring waktu. Hukum Colomb menjelaskan bahwa timbulnya medan listrik disebabkan oleh adanya muatan listrik. Hukum fluks magnet mendeskripsikan bahwa tidak ada medan magnetik yang bersifat monopol (Iqbal dan Wachisbu, 2015).

Penelitian ini menggunakan alat Magnetotellurik ADU-07e di Desa Tambang Sawah, Kabupaten Lebong. Pengukuran lapangan telah dilakukan pada bulan Oktober 2022. Dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 4 titik pengukuran yang tersebar di wisata Air Putih Kabupaten Lebong. Penelitian ini menggunakan 4 titik pengukuran untuk melihat variasi nilai resistivitas untuk

penentuan potensi panas bumi. Ilustrasi pengukuran di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil pengukuran di lapangan yang diolah dengan *software* MAPROS yang kemudian mendapatkan model 2D dengan menggunakan *software* ZONDMT2D.

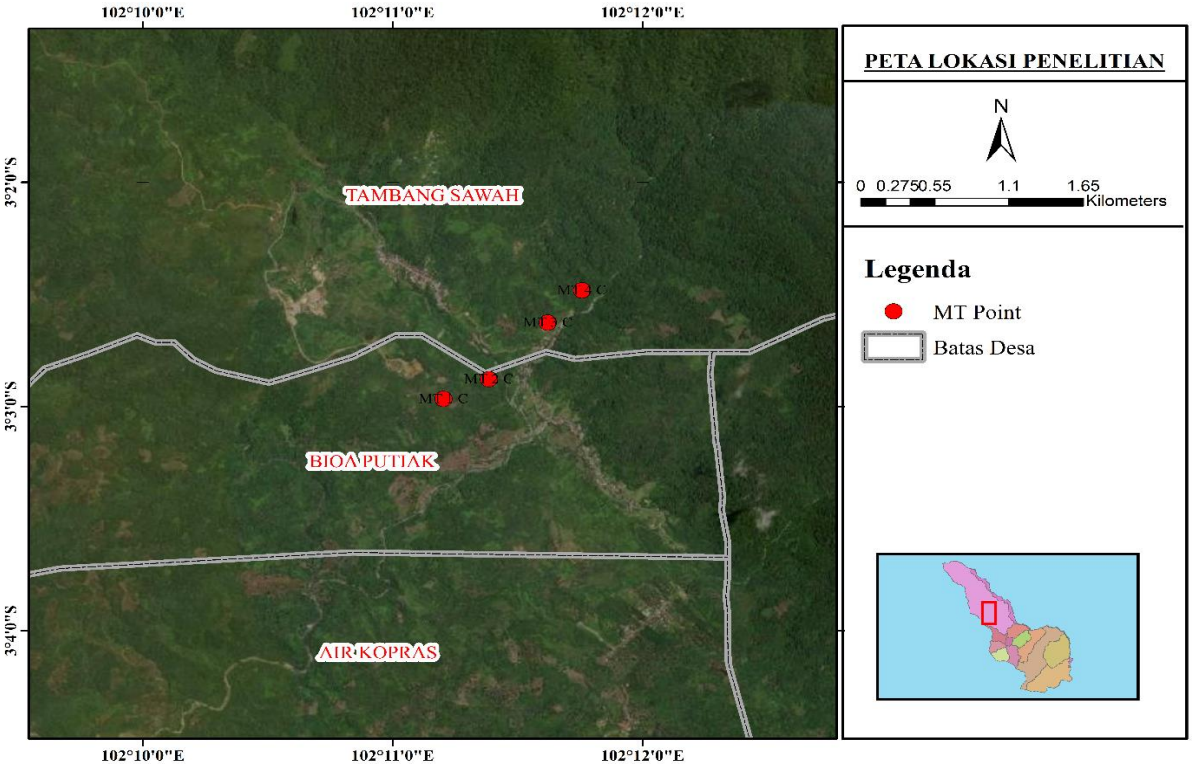
HASIL DAN PEMBAHASAN

Model resistivitas 2D menunjukkan distribusi nilai resistivitas panas bumi daerah tambang sawah Kabupaten Lebong, pengukuran dilakukan dengan frekuensi rendah (128 Hz), sedang (1024 Hz), dan frekuensi tinggi (4096 Hz). Nilai resistivitas dibagi menjadi 3 kelompok yaitu resistivitas rendah dengan nilai (20-50 Ω.m), sedang (50-200 Ω.m), dan tinggi (>200 Ω.m), nilai resisitivitas tinggi diperkirakan sebagai *heat source* (Sugianto dan A.W, 2012). Hasil penelitian menunjukkan potensi panas bumi berada pada kedalaman 1,8 km sampai 6,5 Km.

Penelitian di daerah yang sama (Raihana.H *dkk*, 2023) berdasarkan hasil pengukuran dengan metode geolistrik *Time Domain Induced Polarization* (TDIP), struktur bawah permukaan diperoleh dari penampang resistivitas dan *chargeability* dalam 2 dimensi. Karakteristik alterasi hidrotermal di daerah penelitian adalah terlihat: zona alterasi potasik, zona alterasi silikat, dan zona alterasi profilit.

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Lebong, tepatnya di Desa Tambang Sawah, Kecamatan Pinang Berlapis, Provinsi Bengkulu (Gambar 3). Secara astronomis terletak pada 105º-108º Bujur Timur dan 02º,65'-03º,60' Lintang Selatan di sepanjang Bukit Barisan serta terklasifikasi sebagai daerah perbukitan dengan ketinggian 500 mdpl sampai dengan 1.000 mdpl. Kabupaten Lebong memiliki energi primer panas bumi yang diperkirakan potensinya mencapai 600 MW dan tersebar pada tiga lokasi Bukit Gedang Hulu Lais, Tambang Sawah dan Bukit Daun.

Berdasarkan gambar 5. Terdapat tiga hasil penampang, diantaranya penampang 1 merupakan data lapangan dengan nilai resistivitas semu, penampang 2 merupakan model kalkulasi antara data lapangan dan data model yang dihasilkan oleh *software*, dan penampang 3 merupakan hasil nilai resistivitas yang sebenarnya. Model penampang resistivitas 2D menunjukkan nilai resistivitas yang dapat digolongkan ke dalam tiga kelompok, yaitu resistivitas rendah, sedang, dan tinggi yang ditunjukkan pada Tabel 1. Resistivitas rendah (0.26 – 0.8 Ohm.m) yang ditampilkan dengan warna biru, diduga berasosiasi dengan lapisan *caprock* pada sistem Panas Bumi dengan kedalaman >0,8 km. Pada zona ini diidentifikasi terdapat jenis batuan lava andesitik dimana batuan ini telah mengalami ubahan. Sebagian ubahan berupa klorit dan lempung sehingga dapat menahan keluarnya fluida panas bumi ke atas permukaan karena batuan ini bersifat impermeabel (Andini dkk., 2020). Resistivitas sedang (20 - 50 Ohm.m) ditampilkan dengan warna hijau hingga kuning, diduga berasosiasi dengan lapisan reservoir pada sistem Panas Bumi yang berada pada kedalaman <1,5 km yang terperangkap di bawah *caprock*. Pada zona ini diperkirakan terdapat jenis batuan andesitik yang telah mengalami rekahan yang diduga sebagai tempat menyimpannya fluida panas bumi. Resistivitas tinggi (>300 Ohm.m) ditampilkan dengan warna oranye hingga merah, diduga berasosiasi dengan batuan sumber panas pada sistem Panas Bumi dengan kedalaman 1,8-6,5 km. *Hot rock* yang terdapat pada sistem panasbumi daerah Tambang Sawah Kabupaten Lebong, tersusun atas batuan metamorf dan beku (*igneous rock*) (Salam dan Harmoko, 2017). Batuan pemanas (*hot rock*) terdapat di bawah batuan reservoir.



Gambar 3. Lokasi Penelitian MT

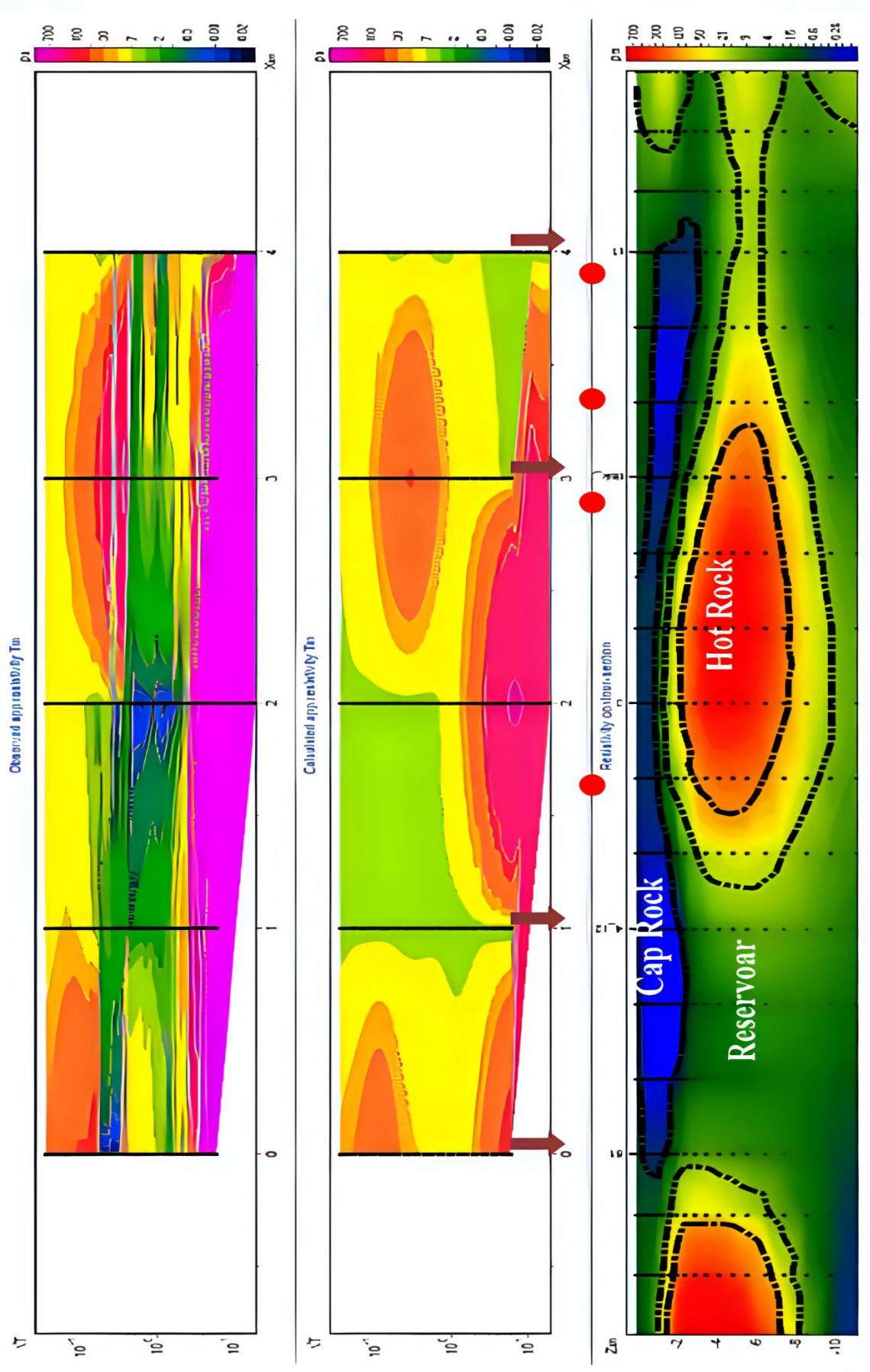
Tabel 1. Pendugaan Pengelompokan Nilai Resistvitas (Ω.m)

No	Resistivitas (Ω.m)	Kedalaman (km)	Keterangan
1	0,26 – 0,8	> 0,8	*Caprock*
2	20 - 50	<1,5	Reservoir
3	>300	1,8-6,5	*Hot Rock*

Secara garis besar model ini memperlihatkan tiga fitur utama. Fitur pertama merupakan batuan dengan nilai resistivitas tinggi, yang diinterpretasikan sebagai batuan sumber panas. Fitur kedua adalah lapisan resistivitas rendah yang diinterpretasikan sebagai lapisan penudung (*caprock*). Fitur ketiga adalah lapisan resistivitas menengah yang diinterpretasikan sebagai lapisan reservoir, dengan ketebalan 2000 meter. Nilai resistivitas terkecil yang teramati pada bagian permukaan diinterpretasikan sebagai *overburden* yang tidak mengalami proses alterasi. Namun model inversi 2D yang dihasilkan tidak dapat membedakan antara reservoir berkarakter dominasi uap dan dominasi air.

KESIMPULAN

Model resistivitas 2D pada daerah Panas Bumi Tambang Sawah, Kabupaten Lebong menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki tiga kelompok nilai resistivitas, yaitu resistivitas rendah, sedang, dan tinggi. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa identifikasi nilai resisitivitas daerah Desa Tambang Sawah, Kabupaten Lebong dibagi menjadi 3 lapisan yaitu nilai resisitivitas antara 20-50 Ω.m dianggap sebagai lapisan reservoir yang berada pada kedalaman <1,5 km. Lapisan *caprock* diinterpretasikan memiliki nilai resistivitas 0,26-0,8 Ω.m dengan kedalaman >0,8 km serta nilai resistivitas tinggi >300 Ω.m dinterpretasikan sebagai batuan sumber panas dengan kedalaman 1,8 km sampai dengan 6,5 km.



Gambar 4. Model Resistivitas 2D

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian ini,dan didukung penuh oleh program studi Geofisika Universitas Bengkulu, terutama kepada dosen pembimbing yang telah membantu dalam proses pengolahan data hingga tahap interpretasi, yang telah mendampingi proses penulisan jurnal ini dengan sangat baik. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Desa dan masyarakat Desa Tambang Sawah, Kecamatan Pinang Belapis, Kabupaten Lebong, yang telah menerima kami dengan baik dan ramah saat kami melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Andini, D., Lepong, P., Natalisanto, A.I., 2020. Identifikasi Kawasan Zona Panas Bumi (Geothermal) Di Daerah X Menggunakan Metode Magnetotellurik. J. Geosains Kutai Basin 3, 1–8.

Arief, R., Sukandar, M., Putra, C., 2018. Penelitian geologi medis daerah Lebong Tambang Kabupaten Lebong, Provinsi Bengkulu. Bid. Miner. 1–32.

Bemmelen, R.W.V.A.N., 1969. THE ALPINE LOOP OF THE TETHYS ZONE. tectonophysiscs 8, 107–113.

Fitrida, S.M., Sampurno, J., Ivansyah, O., Kholid, M., 2015. Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Bebrdasarkan Metode Magnetotelirik di Kawasan Panas Bumi Wapsalit Kabupaten Buru Provinsi Maluku. POSITRON V.

Gafoer, s., T.C. Amin., & R.P., 2007. Peta geologi lembar Bengkulu, Sumatera [Peta] = Geological map of the Bengkulu quadrangle, Sumatera / oleh S. Gafoer, T.C. Amin dan R. Pardede. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 2007.

Hana Raihana, Jesika Erni Elfrita Sinaga, Adinda Gusti Cahyani, Halauddin, Suhendra, Anggiat Hutauruk, N.S., 2023. Identification of Alteration Zones Based on Resistivity and Induced Polarization Geoelectric Survey. Jambura Geosci. Rev. 5, 119–126. https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v5i2.17931

Hendra, G., 2013. Metoda Magnetotellurik 1–17.

Iqbal, M., Wachisbu, M., 2015. Pemodelan Data Magnetotelurik Dengan Remote Reference Untuk Eksplorasi Cekungan Migas Studi Kasus : Lapangan Em-4 Dosen Pembimbing Remote Reference For Oil And Gas Basin Exploration Case Study : Em-4 Field.

Iskandar, Z., 2008. Petrogenesis batuan vulkanik daerah tambang emas Lebong Tandai , Provinsi Bengkulu , berdasarkan karakter geokimianya. Indones. J. Geosci. 3, 57–73.

Kasbani, 2009. TIPE SISTEM PANAS BUMI DI INDONESIA DAN ESTIMASI POTENSI ENERGINYA. PMG – Badan Geol.

Mukazairo, D.S.E., Refrizon, R., Sugianto, N., 2020. Peta Anomali Magnetik Daerah Mineralisasi Emas Di Desa Tambang Sawah Kecamatan Lebong Utara Berdasarkan Pengukuran Magnetik. Newton-Maxwell J. Phys. 1, 19–24. https://doi.org/10.33369/nmj.v1i1.14292

Putra, ilham dharmawan, Nasution, reza ade firdaus, Harijoko, A., 2017. Aplikasi Landsat 8 Oli/Tirs Dalam Mengidentifikasi Altrasi Hidrotermal Skala Regional : Studi Kasus Daerah Rejang Lebong dan Sekitarnya, Provinsi Bengkulu. kebumian 2, 56–63.

Ramdhani, F., Setiawan, A., Raharjo, imam b., A, L., 2017. Pemodelan 2 dimensi data magnetotellurik berdasarkan analisis phase tensor dalam penentuan geoelectrical strike dan dimensionalitas data di Lapangan Panas Bumi " X ." youngster Phys. jaournal 6, 205–212.Rosenkjær, G.K., 2011. Electromagnetic methods in geothermal exploration. 1D and 3D inversion of TEM and MT data from a synthetic geothermal area and the Hengill geothermal area, SW Iceland. Faculty of Earth Sciences School of Engineering and Natural Sciences University of Iceland.

Salam, R.A., Harmoko, U., 2017. Pemodelan 2D Sistem Pana Bumi Daerah Garut Bagian Timur Menggunakan Metode Magnetotelurik. Youngster Phys. J. 6, 143–150.

Sri, Setiawan, I., Fiqih, F.M., Fauzi, A.I., 2009. Batuan volkanik.

Sugianto, A., A.W, A.K., 2012. Survei Magnetotellurik Daerah Pana Bumi Kepahiang Kabupaten Kepahiang, Bengkulu [WWW Document]. Pus. Sumber Daya Geol.

Suparno, S., 2009. Energi Panas Bumi. A present from the heart of the earth. Univ. Indones. Depok 13–26.

Taufiquddin, 2014. Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Dengan Metode Gravity (Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep).

Wulandari, J.C., Gaffar, E.Z., Zulaikah, S., P, N.A., 2017. Penentuan Struktur Litologi Daerah Panasbumi Probolinggo Menggunakan Metode Magnetotelurik (MT).

Diterima : 30 Desember 2022
Direvisi : 11 April 2023
Disetujui : 28 November 2023

SUMBER DAYA DAN KARAKTERISTIK ENDAPAN PASIR BESI DI CIHERAS, KABUPATEN TASIKMALAYA

RESOURCES AND CHARACTERISTICS OF IRON SAND DEPOSITS IN CIHERAS, TASIKMALAYA DISTRICT

Teuku Ishlah[1], Suwahyadi[2], dan Dwi Nugroho Sunuhadi[1]
[1]Pusat Riset Sumber Daya Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional
[2]Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi
teukuishlah1957@gmail.com

ABSTRAK

Besi termasuk komoditas logam yang banyak dipakai dalam peradaban umat manusia, dan kini digunakan untuk bahan baku untuk pembuatan baja dan campuran bahan baku semen. Oleh karenanya, kegiatan penelitian endapan pasir besi masih diperlukan terutama di daerah bekas tambang menarik untuk diteliti ulang, karena kenaikan harga logamnya, sehingga menurunkan kadar batas (*cut off grade)* untuk penambangan konsentrat pasir besi dan kemungkinan terdapatnya mineral lain yang bernilai tinggi.

Lokasi penelitian terletak di Desa Ciheras Kecamatan Cipatujah meliputi Blok Ciheras-1, Blok Ciheras-2, dan Blok Cikalong Desa Cikadu, Kecamatan Cikalong, Kabupaten Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui keterdapatan, kualitas, dan estimasi sumber daya tereka endapan pasir besi (*crude sand*).

Penelitian menggunakan metoda pemetaaan geologi, dan pengambilan sampel dengan bor tangan (*hand auger*) berjarak antar titik pengeboran 400 meter searah *base line* dan 40 meter searah *cross line*. Sebanyak 71 titik pengeboran dilakukan dengan kedalaman antara 2,0 meter sampai dengan 4,0 meter dan diambil sampel pasir besi untuk dianalisa laboratorium meliputi berat jenis (BJ), persentase kemagnetan (MD), analisis ayak/fraksi butir, analisis mineralogi butir, XRF, AAS, dan kolorimetri.

Hasil estimasi sumber daya tereka pasir besi Blok Ciheras-1 sebesar 257.138 ton, Blok Ciheras-2 sebesar 512.199 ton, dan Blok Cikalong sebesar 491.970 ton, sehingga jumlah seluruhnya sebesar 1.261.308 ton. Persentase kemagnetan rata-rata di Blok Ciheras-1; 24,02%, Blok Ciheras-2; 14,7%, dan Blok Cikalong; 8,01%. Endapan pasir besi ini berasal dari batuan dan abu letusan gunung api yang ditansportasi air sungai ke muara dan diendapkan di pantai. Unsur bernilai ekonomi tinggi berupa Titanium dan Vanadium dalam endapan pasir pantai di daerah penelitian yang kadar dan keterdapatannya sebanding dengan unsur Fe.

Kata kunci: pasir besi, crude sand, konsentrat, pengeboran, sumber daya tereka

ABSTRACT

Iron is a metal commodity that is widely used in human civilization, and is now used as a raw material for making steel and a mixture of raw materials for cement. Therefore, research activities on iron sand deposits are still needed, especially in ex-mining areas that are interesting for re-examination, because increase of metal price, so decrease the cut off grade for iron sand concentrate mining and the possibility of the presence of other high value minerals.

The research location is located in Ciheras Village, Cipatujah District, including Block Ciheras-1, Block Ciheras-2, and Block Cikalong, Cikadu Village, Cikalong District, Tasikmalaya Regency, West Java Province. The aim of this research is to determine the availability, quality and estimation of inferred resources for iron sand deposits.

The research used geological mapping methods, and sampling using a hand auger at a distance of 400 meters between drilling points in the direction of the base line and 40 meters in the direction of the cross line. A total of 71 points were drilled to a depth of between 2.0 meters to 4.0 meters and samples of iron sand were taken for laboratory analysis including specific gravity (BJ), magnetic percentage (MD), sieve/grain fraction analysis, grain mineralogy analysis, XRF , AAS, and colorimetry.

The calculation results for the iron sand resources of the Ciheras-1 Block are 257,138 tonnes, the Ciheras-2 Block is 512,199 tonnes, and the Cikalong Block is 491,970 tonnes, bringing the total to 1,261,308 tonnes. Average percentage of magnetism in the Ciheras-1 Block; 24.02%, Ciheras-2 Block; 14.7%, and Cikalong Block; 8.01%. These iron sand deposits come from rocks and ash from volcanic eruptions which are transported by river water to estuaries and deposited on beaches. High economic value elements in the form of Titanium and Vanadium in beach sand deposits in the research area whose levels and occurrence are comparable to the element Fe.

***Keywords**: iron sand, crude sand, concentrate, drilling, inferred resources*

PENDAHULUAN

Besi telah digunakan ribuan tahun lalu dan saat ini masih banyak dipakai untuk berbagai macam kebutuhan industri, seperti bahan utama pembuatan baja dan bahan baku semen serta telah digunakan untuk keperluan peralatan pertanian sejak ribuan tahun lalu. Dengan meningkatnya kebutuhan baja dan kapasitas industri semen, permintaan endapan pasir besi meningkat.

Daerah penelitian terdiri dari Blok Ciheras-1 yang berada di sekitar Pantai Bubujung, dan Blok Ciheras-2 yang berada di Dusun Cipari dan Dusun Lembur Tengah Desa Ciheras, Kecamatan Cipatujah, serta Blok Cikalong, Kecamatan Cikalong Kabupaten Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat (Gambar 1 dan 2). Tujuan penelitian ini untuk mengetahui keterdapatan, kualitas, karakteristik, dan estimasi sumber daya endapan pasir besi di lokasi terpilih.

Kondisi tektonik dan geologi wilayah Indonesia bagi keterdapatan potensi mineral pembawa besi primer sangat terbatas. Hasil penyelidikan yang dilakukan melalui kerja sama Pemerintah Uni Soviet – Republik Indonesia/Direktorat Geologi pada tahun 1954-1964 (Soetaryo,1996) tidak menemukan endapan bijih besi primer sekala penambangan, sehingga industri baja dalam negeri mengimpor bahan baku besi baja. Begitu juga dengan bijih besi di Pleihari Kalimantan Selatan berukuran kecil-kecil dan terpisah-pisah lokasinya (Soetaryo, 2006). Namun, kegiatan eksplorasi masih perlu dilakukan, terutama untuk endapan pasir besi pantai yang digunakan sebagai bahan campuran industri semen dan kemungkinan pengembangan untuk industri skala kecil lainnya.

Secara regional, pulau Jawa tersusun atas batuan yang berumur Pra-Tersier sampai Kuarter, dengan batuan tertua tersingkap di Ciletuh-Jawa Barat (Sukamto, ~~Rab~~ 1975) dan Karangsambung-Jawa Tengah. Di Ciletuh terdapat batuan mafik-ultramafik berumur Mesozoik dan Formasi Ciletuh berumur Eosen. Di Karangsambung ditemukan batuan mafik-ultramafik berumur Pra-Tersier dan Kompleks Lok Ulo berumur Kapur-Paleosen (Asikin,dkk., 1992). Kedua lokasi tersebut dapat dijadikan sebagai bukti aktivitas tektonik

subduksi di Pulau Jawa pada zaman PraTersier-Paleosen. Pada zaman Tersier diendapkan berbagai batuan yang sebagian besar berupa endapan gunung api dan material bukan gunungapi. Batuan-batuan tersebut diterobos oleh beberapa tubuh intrusi berumur Tersier seperti andesit yang tersebar sepanjang Pulau Jawa, diikuti batuan-batuan lain seperti basal, dasit, diabas, dan diorit. Batuan gunungapi dan sedimen tersebut ditutupi oleh endapan-endapan aluvial Holosen hasil aktivitas gunung api serta endapan material hasil erosi batuan yang lebih tua termasuk material pasir besi (Sribudiyani,dkk., 2003).

Di bagian utara daerah penelitian terdapat gunung api yang letusannya membawa batuan dan abu yang mengandung senyawa besi, Fe_2O_3. Menurut Kusumadinata (1979), hasil analisis kimia dari abu letusan Gunung Tangkuban Perahu tahun 1969 mengandung 3,39% Fe_2O_3. Hasil analisis tujuh sampel batuan dari Gunung Papandayan mengandung 2.02% s.d. 3.13% Fe_2O_3 dan 2,26% s.d. 5,11% FeO. Batuan dari Gunung Galunggung pada erupsi tahun 1972 mengandung 2,22% s.d. 3,74% Fe_2O_3 dan 4,6% s.d. 6,25% FeO. Abu Gunung Merapi Jogjakarta pada erupsi tahun 1969 mengandung 5,27% s.d. 6,92% Fe_2O_3. Pada erupsi Merapi tahun 1940, batuan lava mengandung 10,44% Fe_2O_3 dan abu Merapi pada erupsi tahun 1972 mengandung 6,59% Fe_2O_3 dan 3,02% FeO. Material dari letusan Gunung Api di pulau Jawa, sebagian dibawa air sungai ke pantai selatan pulau Jawa yang menghasilkan endapan pasir besi. Sebelum abad ke-18, kerajinan pembuatan keris di pulau Jawa berkembang pesat dengan bahan baku berasal dari pasir besi yang diambil dari alur sungai berhulu ke puncak Gunung Merapi, dan Bengawan Solo. Kejayaan tersebut berakhir dengan kedatangan besi pada masa penjajahan Belanda (Suryono, dkk., 2015).

Secara kimiawi, endapan pasir pantai di daerah penelitian dikelompokkan sebagai *graywacke* berupa material yang pada umumnya berasal dari batuan beku basa, sedikit yang berasal dari daur ulang rombakan sedimen kuarsa (Anonim, 2019). Dari sampel batuan menunjukkan bahwa batuan asal didominasi oleh kelompok batuan basal dengan komposisi mineral butir penyusun dominan dari kelompok mineral olivin dan amfibol, dan ada variasi dari riolit.

METODOLOGI

Kegiatan penelitian ini menggunakan beberapa metode yakni pemetaan geologi, pengeboran dangkal dengan bor tangan (*hand auger*) dan analisis laboratorium. Pengeboran dilakukan dengan jarak antar titik 400 meter searah *base line* dan 40 meter searah *cross line*. Sedangkan analisis laboratorium meliputi Berat Jenis (BJ), analisis persentase kemagnetan (*Magnetic Degree/*MD), analisis ayak/fraksi butir, analisis mineralogi butir, analisis XRF dan analisis kolorimetri untuk mengetahui nilai Vanadium (V) pada sampel pasir besi.

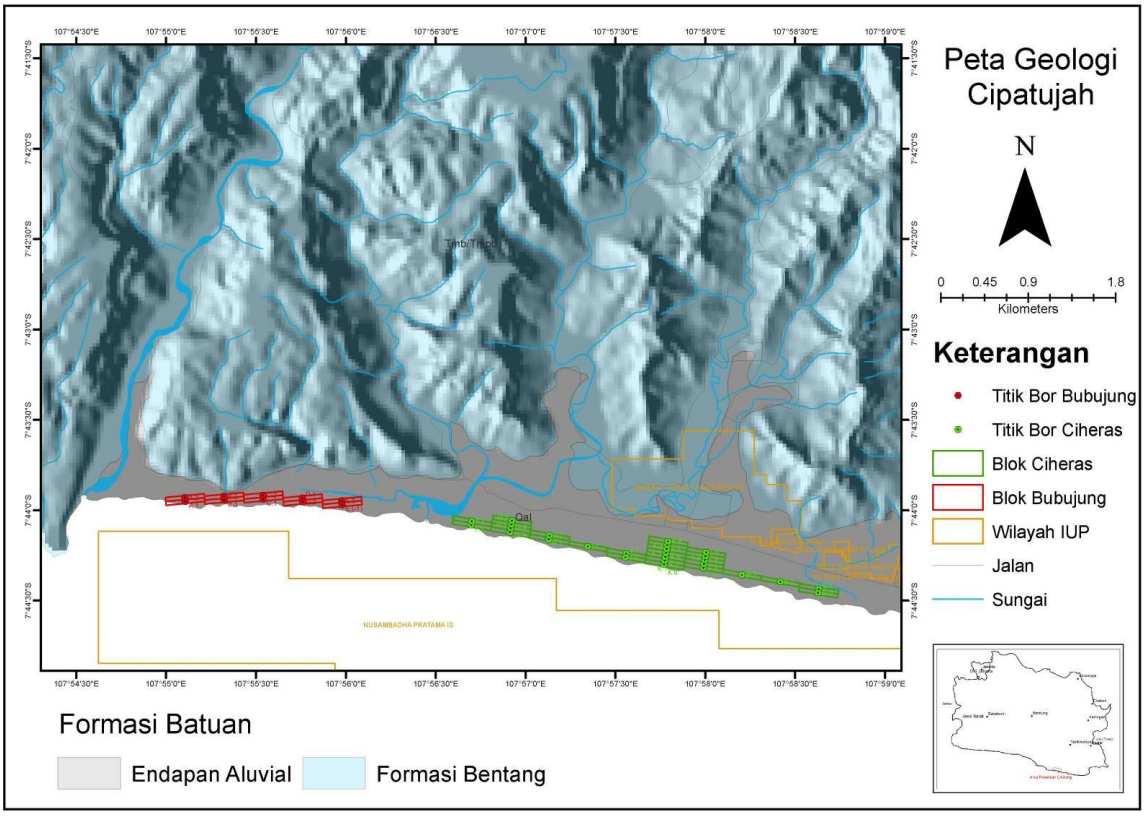
GEOLOGI DAERAH PENYELIDIKAN

Satuan morfologi daerah penyelidikan berdasarkan klasifikasi van Zuidam (1985) yang menggunakan parameter ketinggian dan kemiringan lereng dapat dibagi atas satuan morfologi dataran rendah, dataran rendah pedalaman, perbukitan rendah, dan perbukitan. Daerah penelitian berada pada satuan morfologi dataran rendah menempati sekitar 40% dari total luas daerah penelitian tersebar di bagian selatan (termasuk lokasi pengambilan sampel) hingga sepanjang lembah-lembah sungai, dan mempunyai ketinggian kurang dari 50 mdpl. Satuan ini sebagian besar disusun oleh endapan aluvial dan juga sedikit batuan dari Formasi Bentang yang berada di pantai selatan Ciheras. Sedangkan Blok Cikalong, berdasarkan parameter yang sama seluruhnya termasuk ke dalam satuan morfologi dataran rendah. Sebagian besar satuan dataran rendah pantai selatan di Kabupaten Tasikmalaya menjadi areal

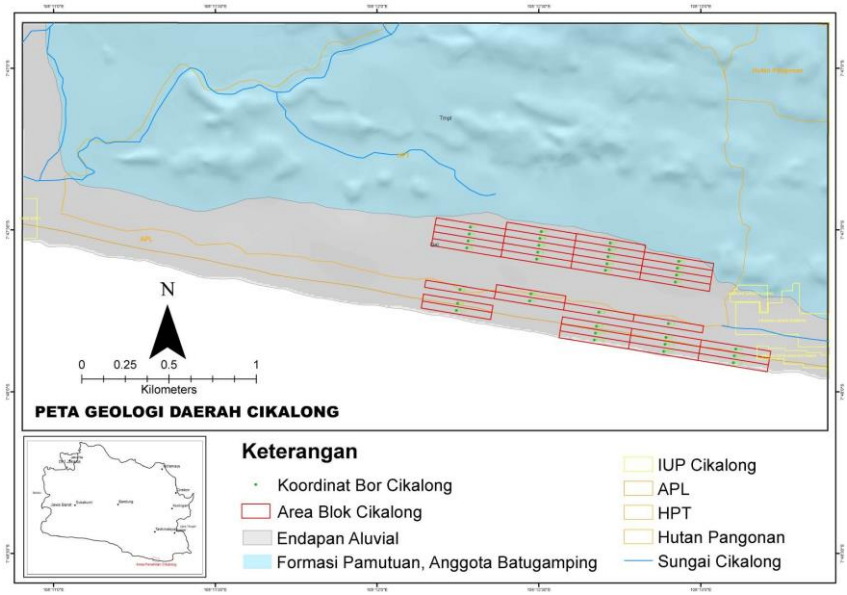
tambak udang dan persawahan. Sedangkan areal Blok-1 dan Blok-2 Ciheras menjadi kebun kelapa.

Menurut Peta Geologi Regional Lembar Garut Pameungpeuk skala 1:100.000 (Alzwar dkk., 1992), Stratigrafi Blok Ciheras-1 dan Blok Ciheras-2 dan Sekitarnya, Kecamatan Cipatujah tersusun oleh Formasi Bentang dan Endapan Aluvial (Gambar 1). Formasi Bentang, umumnya menempati sebagian besar daerah blok penelitian dengan luas sebaran ± 88%. Satuan batuan ini menempati bagian sebelah utara lokasi penyelidikan terdiri dari batupasir tufaan, tufaan batuapung, batulempung, konglomerat dan lignit. Di bagian atasnya diendapkan Endapan Aluvial, satuan ini meliputi ± 12% dari luas daerah penyelidikan terletak di lokasi pengambilan sampel hingga lahan perkebunan dan perkampungan penduduk. Satuan batuan ini terdiri dari pasir halus hingga kasar dan kerikil, serta lempung dan lanau.

Menurut Peta Geologi Lembar Karangnunggal (Supriatna, dkk., 1992) skala 1:100.000, stratigrafi Blok Cikalong terdiri dari Anggota Batugamping Formasi Pamutuan dan Endapan Aluvial. Anggota Batugamping Formasi Pamutuan menempati sebagian besar Blok Cikalong dengan luas sebaran ± 68%. Satuan batuan ini menempati bagian sebelah utara lokasi penyelidikan yang terdiri dari batugamping pasiran, kalsilutit dan napal. Endapan Aluvial yang menjadi tempat pengambilan sampel, tersusun dari pasir halus hingga kasar, kerikil, dan lanau tersebar ± 32% dari luas daerah penyelidikan (Gambar 2), kini menjadi lahan pertanian, perkebunan, dan perkampungan penduduk.



Gambar 1. Peta Geologi daerah penelitian Kecamatan Cipatujah



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Cikalong

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Endapan Mineral

Endapan pasir besi di daerah penelitian merupakan endapan sekunder, hasil dari rangkaian proses pelapukan, transportasi dan pengendapan. Proses perombakan terjadi akibat dari pelapukan batuan yang umumnya terjadi akibat cuaca panas dan hujan dalam kurun waktu jutaan tahun, sehingga butiran mineral terlepas dari batuan. Material hasil rombakan batuan beku dan material hasil letusan gunung berapi yang berada di bagian utara lokasi penelitian terbawa oleh aliran sungai menuju muara di pantai selatan. Material-material yang terbawa aliran sungai tersebut mengalami pemilahan berdasarkan berat jenis oleh pukulan arus laut berulang-ulang ke arah pantai, sehingga terakumulasi di pesisir pantai dan kembali mengalami pukulan ombak pada saat pasang naik air laut. Selain oleh arus laut, pengendapan juga diakibatkan oleh angin yang membentuk gumuk-gumuk pasir. Proses-proses tersebut menyebabkan pengayaan kadar besi dan unsur ikutan lainnya. Untuk endapan pasir besi umumnya terjadi pengayaan mineral-mineral magnetit, ilmenit, hematit, titanomagnetit dan mineral lainnya yang secara umum berasal dari batuan gunungapi.

Dari 71 titik pengeboran, diambil sebanyak 189 sampel pasir individu dan 70 sampel komposit. Berdasarkan data pengambilan sampel dan penyebaran lateralnya maka wilayah yang cukup potensial mengandung pasir besi ditemukan di Blok Ciheras-2 dan Blok Cikalong. Di Blok Ciheras-2, pasir besi ditemukan pada kedalaman 2,0 s.d 3,0 meter dengan konsentrasi mineral-mineral yang memiliki sifat kemagnetan cukup signifikan. Sedangkan di Blok Cikalong endapan pasir besi dengan konsentrasi mineral-mineral yang memiliki sifat kemagnetan signifikan pada kedalaman 3,0 s.d 4,0 meter.

Estimasi Sumber Daya Konsentrat Pasir Besi

Berdasarkan Pedoman Teknis Eksplorasi Pasir Besi (Anonim, 2005) estimasi sumber daya konsentrat endapan pasir besi dilakukan dengan metode daerah pengaruh, dengan menggunakan rumus:

$$C = (L \times t) \times MD \times BJ$$

C= sumber daya (ton), L= luas daerah pengaruh (m^2), t=tebal endapan pasir besi (m), MD=persentase kemagnetan (%), BJ=Berat jenis; dari hasil pengukuran dalam satuan gr/cm^3 menjadi dalam ton/m^3

$1\ gr/cm^3 = 1000\ kg/m^3 = 1\ ton/m^3$

BJ ditentukan dengan cara mengambil 100 gram sampel endapan pasir besi, dimasukkan ke dalam gelas ukur yang sudah diisi air sebanyak 200 mililiter, setelah material sampel mengendap kemudian dicatat angka volumenya (Y). BJ dihitung dengan rumus:
BJ = (100/(Y-200) gr/cm^3.
Y = volume air + endapan pasir besi

Analisis endapan pasir besi di daerah penelitian hasilnya beragam, tergantung pada banyaknya kandungan mineral berat pada sampel. Berat jenis dianalisis pada setiap meter kedalaman untuk setiap lubang pengeboran

Sama halnya dengan pengukuran BJ, sampel diambil dari setiap interval kedalaman 1 meter untuk tiap lubang bor. Sampel endapan pasir besi *(crude sand)* seberat 1 kg disebarkan secara merata di atas lembar kertas karton, kemudian secara manual magnet tangan berkekuatan 300 *Gauss* didekatkan dengan jarak 1 cm untuk menarik butiran-butiran mineral yang memiliki sifat kemagnetan. Butiran-butiran mineral yang tertarik oleh magnet dilepaskan dan ditaruh secara merata ke karton bersih yang lain, dan dilakukan pengulangan menarik mineral dengan magnet tangan sebanyak tiga kali untuk memperoleh butiran-butiran mineral yang memiliki sifat kemagnetitan terutama magnetit dan ilmenit yang lebih bersih dan bebas dari material-material pengotor. Partikel-partikel yang berhasil dipisahkan selanjutnya ditimbang dan dihitung dengan rumus:

MD = (A : B) x 100%
A = berat mineral tertarik/magnetit (gram);
B = berat sampel keseluruhan (gram)

Dari hasil pengukuran diperoleh MD rata-rata 24,02% dari sampel di Blok Ciheras-1, 14,7% dari Blok Ciheras-2 dan sebesar 8,01% dari Blok Cikalong.

Estimasi sumber daya mineral, ditentukan oleh faktor luas daerah pengaruh sesuai dengan interval titik bor, dalam hal ini yaitu 400 meter x 40 meter. Namun dalam proses pengambilan sampel di lapangan kondisi tersebut tidak selalu dapat dipenuhi, maka penentuan daerah pengaruh menyesuaikan dengan kondisi lapangan. Berdasarkan SNI 4726:2019 maka hasil estimasi sumber daya di daerah penyelidikan masuk dalam klasifikasi sumber daya tereka. Dengan menggunakan rumus di atas diperoleh estimasi sumber daya tereka pasir besi di Blok Ciheras-1, Blok Ciheras-2 dan Blok Cikalong sebagai berikut;

Blok Ciheras-1, memiliki 10 lubang bor dengan kedalaman masing-masing 2,0 m, kecuali B1 dengan kedalaman 1 meter. Terdapat 19 blok daerah pengaruh, dengan total estimasi sumber daya tereka pasir besi sebesar 257.082 ton.

Blok Ciheras-2 memiliki 27 lubang bor dengan kedalaman bervariasi antara 2,0 meter sampai dengan 3,0 meter. Estimasi yang dilakukan terhadap 65 blok daerah pengaruh menghasilkan estimasi sumber daya tereka pasir besi sebesar 512.199 ton.

Blok Cikalong yang letaknya di desa Cikalong, memiliki 34 lubang bor dengan kedalaman bervariasi antara 3,0 meter sampai dengan 4,0 meter, estimasi terhadap 105 blok daerah pengaruh menghasilkan estimasi sumber daya tereka pasir besi sebesar 491.970 ton. Total estimasi sumber daya tereka pasir besi yang meliputi Blok Ciheras-1, Ciheras-2, dan Cikalong mencapai 1.261.308 ton.

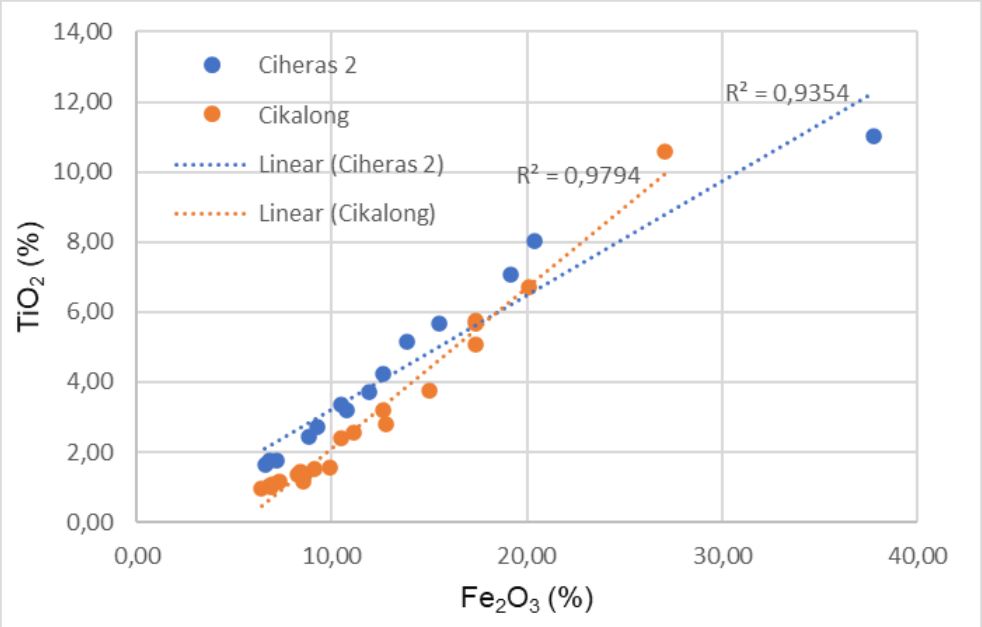
Mineral Ikutan Bernilai Ekonomi Tinggi

Kadar senyawa Fe_2O_3 dan TiO_2 yang didapat dari hasil analisis XRF terhadap beberapa sampel *crude sand* menunjukkan korelasi positif dan berbanding lurus pada Blok Ciheras-2 dan Blok Cikalong. Semakin tinggi kandungan Fe_2O_3 maka semakin tinggi juga kandungan TiO_2. Dari pola ini dapat disimpulkan bahwa senyawa TiO_2 banyak terdapat pada mineral ilmenit (Gambar 3).

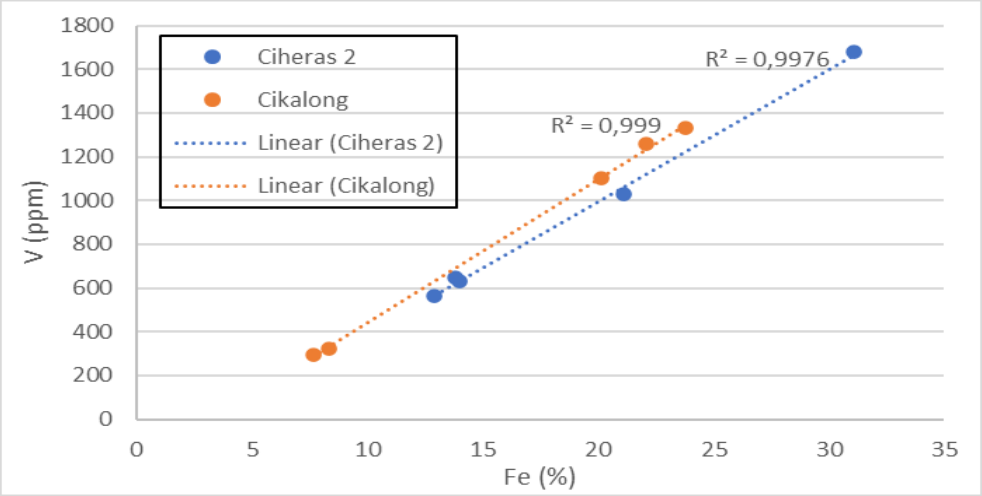
Vanadium (V) sebagai salah satu unsur yang terdapat dalam mineral magnetit dan ilmenit yang membawa unsur Fe dan Ti dalam endapan pasir besi, menunjukkan hubungan positif dengan unsur Fe di Blok Ciheras-2 dan Cikalong (Gambar 4). Peningkatan kadar Fe dari masing-masing sampel diikuti oleh peningkatan kadar V dengan koefisien korelasi positif yang sangat kuat sebesar 0,99. Hal ini menunjukkan keterdapatan unsur vanadium tidak lepas dari kehadiran Fe dalam satu mineral yang sama yaitu magnetit dan ilmenit.

Vanadium dari sampel *crude sand* Blok Ciheras-2 memiliki kadar rata-rata 911 ppm (0,09 %) dan pada sampel konsentrat sebesar 3.248 ppm (0,32 %) yang menunjukkan pengayaan sebesar 3,56 kali. Blok Cikalong memiliki kadar rata-rata unsur vanadium 861 ppm (0,08 %) dalam sampel *crude sand* dan 3.526 ppm (0,35 %) dalam sampel konsentrat, menunjukkan pengayaan kadar rata-rata sebesar 4,1 kali. Pengayaan kadar vanadium dalam konsentrat terhadap *crude sand* yang cukup besar tersebut menunjukkan bahwa unsur V dibawa oleh mineral-mineral hasil proses konsentrasi magnetik terutama magnetit dan ilmenit

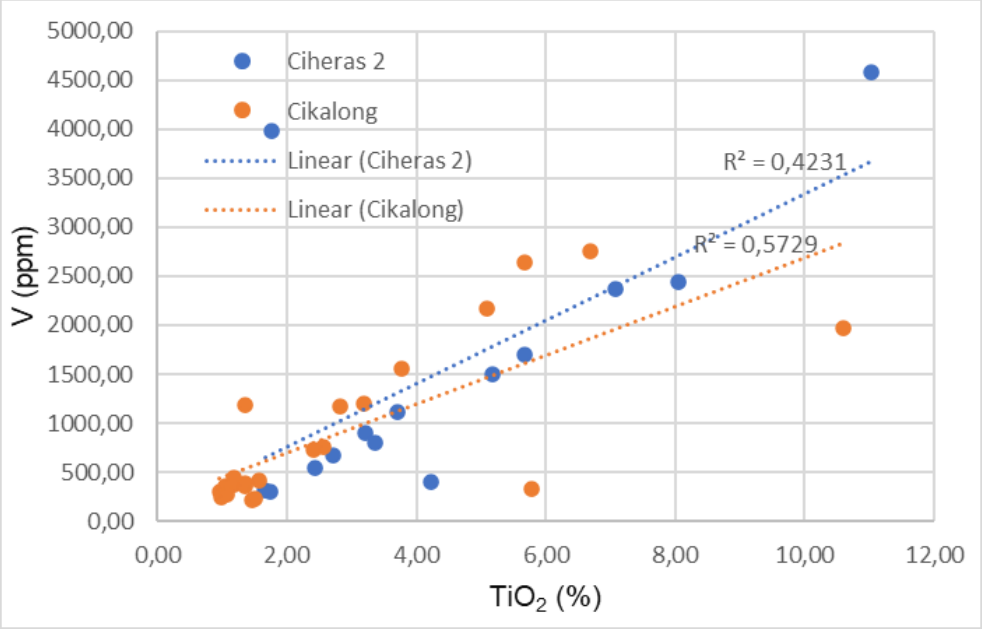
Seperti halnya terhadap unsur Fe di atas, V juga memiliki korelasi positif dengan Ti pada kedua lokasi penyelidikan (Gambar 5). Namun demikian koefisien korelasi dari kedua lokasi penyelidikan memiliki pola yang berbeda dengan korelasi antara unsur Fe dan V. Korelasi antara TiO_2 dan V di Blok Ciheras-2 dan Cikalong menunjukkan grafik positif, tetapi memilik koefisien korelasi yang sama-sama lemah.



Gambar 3. Diagram korelasi Fe_2O_3 dan TiO_2 dari hasil XRF



Gambar 4. Diagram korelasi kadar Fe dengan V sampel *crude sand* Blok Ciheras-2 dan Blok Cikalong

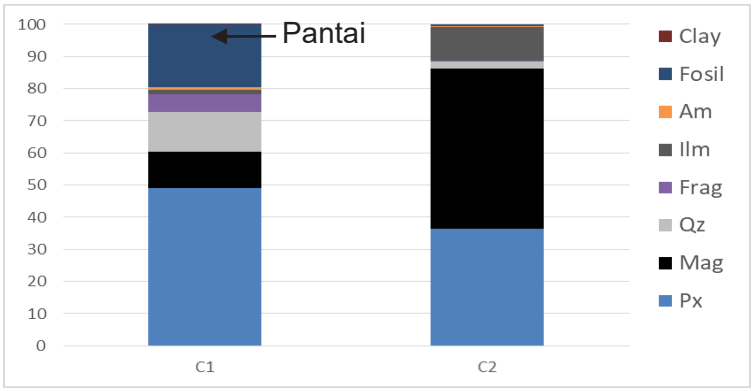


Gambar 5. Diagram korelasi TiO_2 dan V Blok Ciheras-2 dan Blok Cikalong

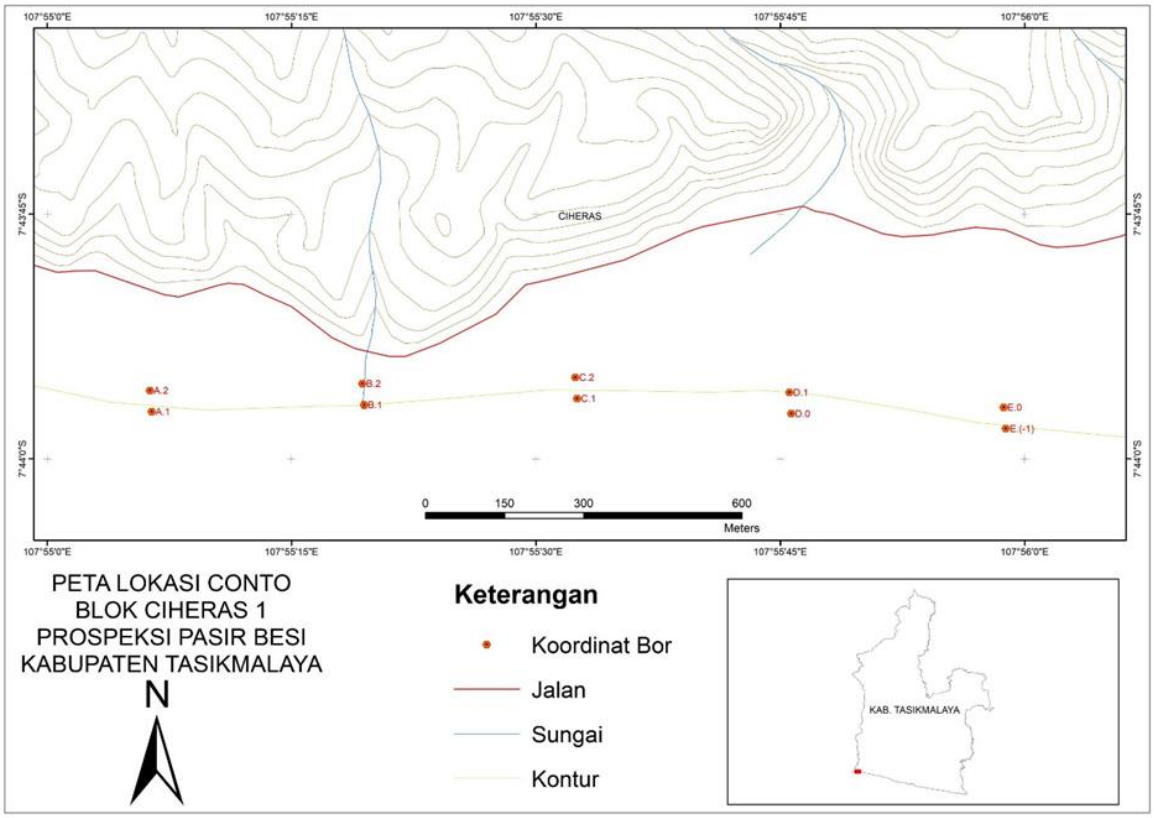
Nilai koefisien korelasi untuk Blok Ciheras-2 yaitu 0,42 dan untuk Blok Cikalong 0,57. Diinterpretasikan bahwa di Blok Ciheras 2 dan Cikalong, unsur V tidak seluruhnya hadir bersama dengan unsur Ti. Kemungkinan kehadiran unsur Ti adalah dari mineral rutil (TiO_2) yang tidak berasosiasi dengan unsur V.

Karakteristik Endapan Pasir Besi

Endapan pasir besi Blok Ciheras-1 yang diambil dari pesisir pantai memiliki kandungan magnetit dan ilmenit yang meningkat ke arah daratan (Gambar 6). Seperti ditunjukkan pada lokasi C1 yang terletak di pantai dan C2 yang terletak ke arah daratan (Gambar 7).



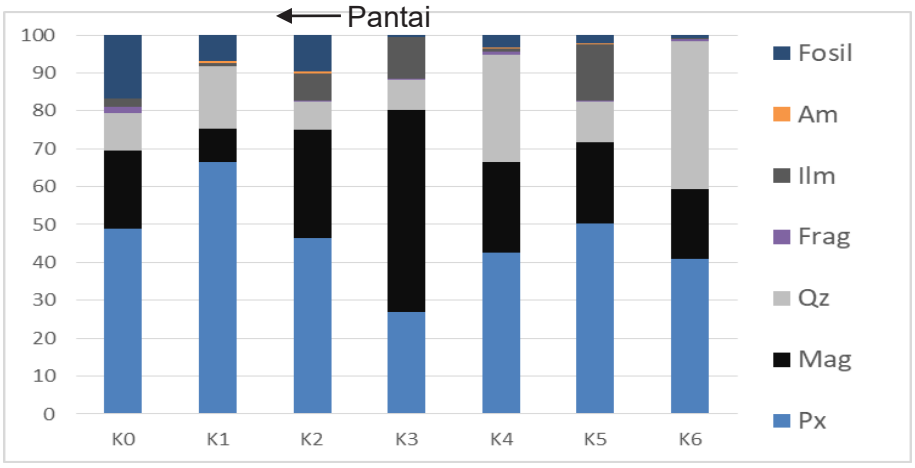
Gambar 6. Distribusi komposisi mineral tegak lurus garis pantai Blok Ciheras-1 dari titik bor C1 dan C2. (Am; Amfibol, ilm; ilminit; Frag; Fragmen, Qz; Kuarsa, Mag; Magnetit, Px; Piroksen)



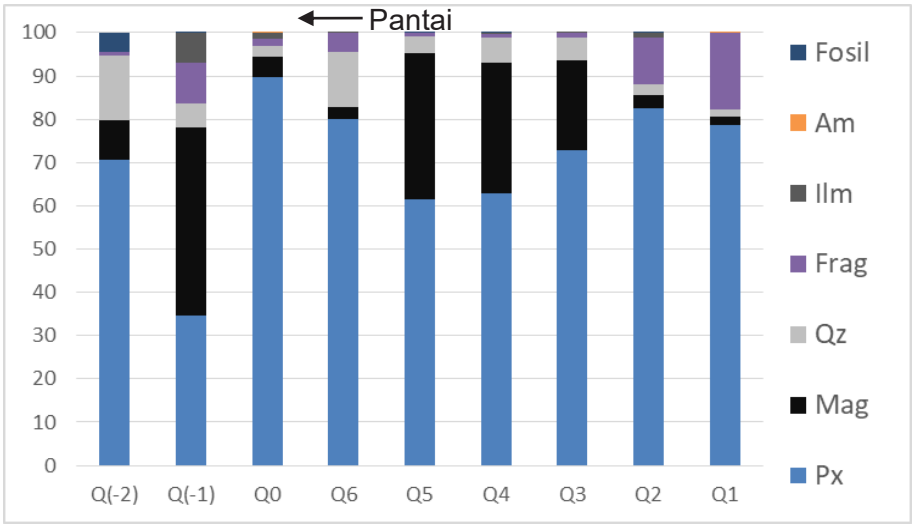
Gambar 7. Peta lokasi titik pengeboran C1 dan C2

Sementara itu sampel di Blok Ciheras-2 dan Cikalong yang diambil dari pesisir pantai sampai kebun kelapa menunjukkan distribusi mineral yang variatif (Gambar 8 dan 9). Hal ini kemungkinan disebabkan karena sampel di Ciheras-1 merupakan endapan pesisir pantai yang masih aktif mengalami sedimentasi sehingga pemilahan mineral berat yang ideal tercermin di dalam kandungan magnetit dan ilmenit.

Pengambilan sampel pada Blok Ciheras-2 dan Blok Cikalong mulai dari pesisir pantai sampai ke kebun masyarakat. Endapan pasir besi di wilayah kebun sudah banyak mengalami pelapukan dan teroksidasi dalam intensitas yang bervariasi sehingga distribusi mineral magnetit dan ilmenit yang tersisa tidak tercermin dalam sampel ataupun dari jarak titik sampel ke garis pantai.



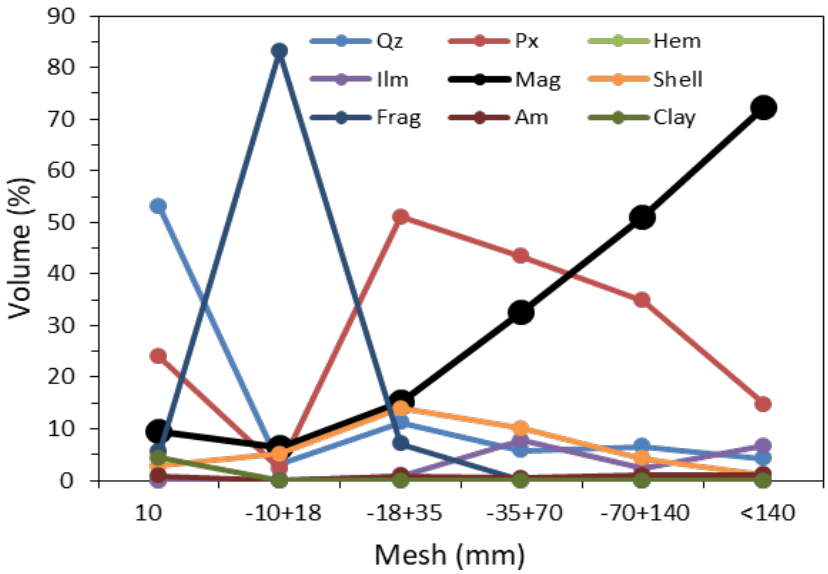
Gambar 8. Distribusi komposisi mineral tegak lurus garis pantai Blok Ciheras 2 dari titik bor K0 sampai dengan K6 (Am; Amfibol, Ilm; ilminit, Frag; Fragmen, Qz; Kuarsa, Mag; Magnetit, Px; Piroksen)



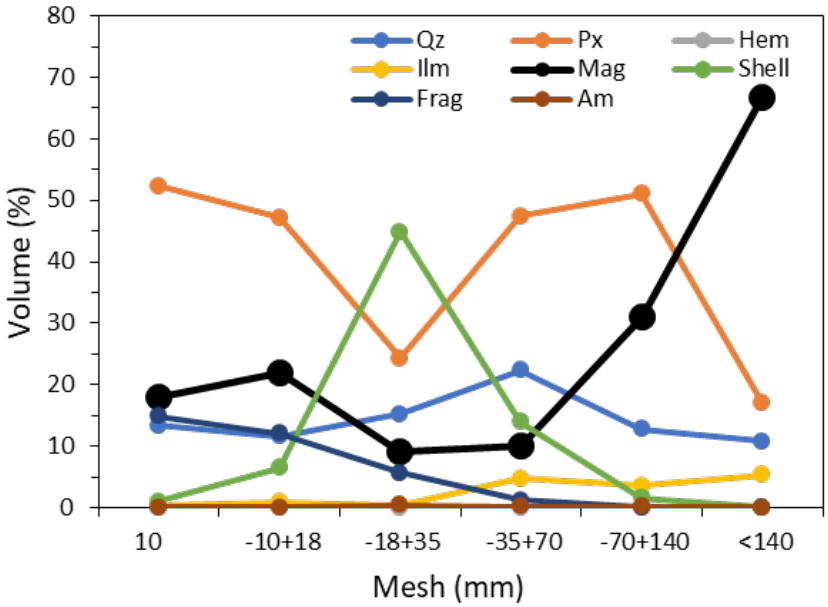
Gambar 9. Distribusi komposisi mineral tegak lurus garis pantai Blok Cikalong dari titik bor Q(-2) sampai dengan Q6 (Am; Amfibol, Ilm; ilminit, Frag; Fragmen, Qz; Kuarsa, Mag; Magnetit, Px; Piroksen)

Rata-rata persentase kehadiran magnetit dalam fraksi butir sampel Blok Ciheras-1 dan Ciheras-2 secara umum menunjukkan pola yang meningkat ke arah ukuran fraksi lebih kecil (Gambar 10 dan 11). Dari grafik tersebut diketahui distribusi kandungan magnetit pada masing-masing fraksi.

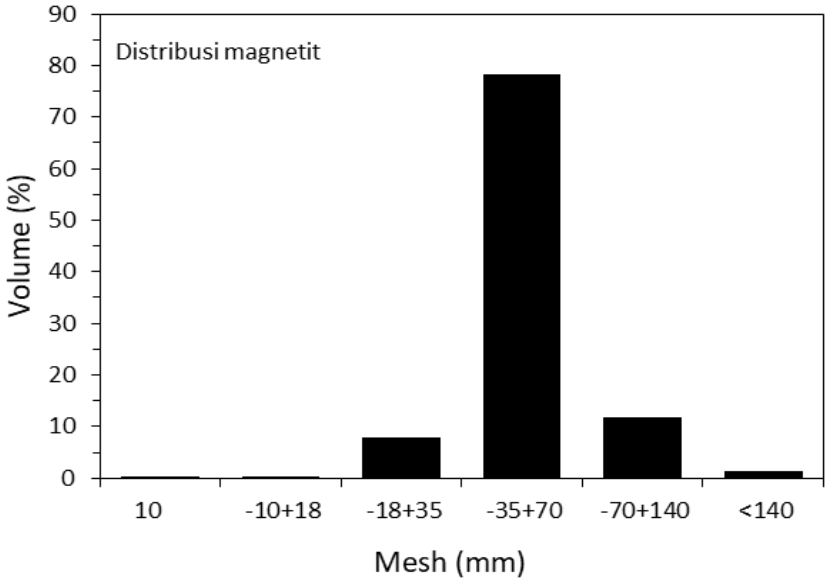
Pada conto Blok Ciheras-1 memiliki distribusi magnetit paling banyak berada pada fraksi ukuran -35+70 mesh (78,2%) diikuti -70+140 mesh (11,8%), -18+35 mesh (7,8%), <140 mesh (1,4%), fraksi -10+18 mesh dan 10 mesh masing-masing 0,4% (Gambar 12). Sampel endapan pasir besi Blok Ciheras 2 memiliki distribusi magnetit paling banyak berada pada fraksi ukuran -70+140 mesh (65,9%) diikuti 35+70 mesh (19,7%), <140 mesh (13,2%), -18+35 mesh (0,6%), fraksi -10+18 mesh dan 10 mesh masing-masing 0,3% (Gambar 13).



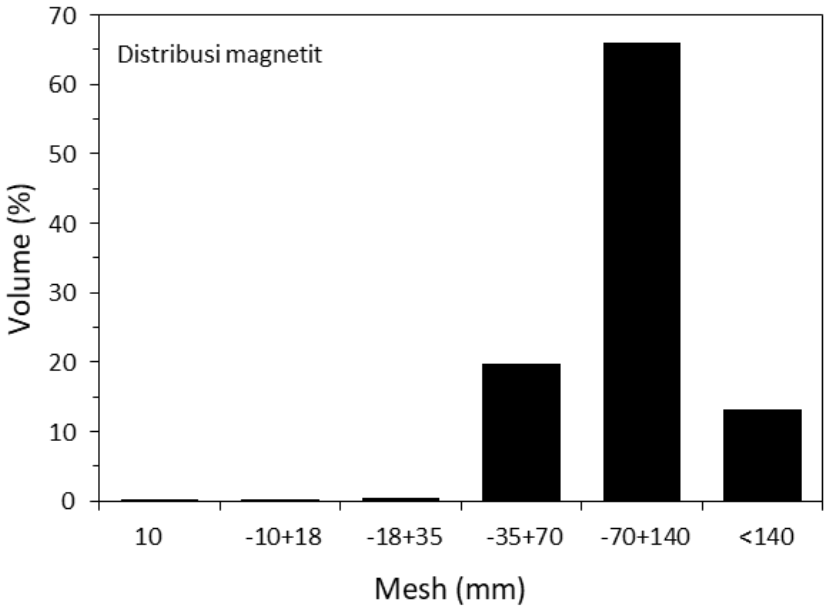
Gambar 10. Distribusi persentase kandungan mineral pada masing-masing fraksi sampel endapan pasir besi Blok Ciheras-1 (Qz; Kuarsa, Ilm; Ilminit, Frag; Fragmen, Px; Piroksen, Mag; Magnetit, Am; Amfibol, Hem; Hematit, Shel; cangkang-cangkang, Clay; Lempung)



Gambar 11. Distribusi persentase kandungan mineral pada masing-masing fraksi sampel endapan pasir besi Blok Ciheras-2 (Qz; Kuarsa, Ilm; Ilminit, Frag; Fragmen, Px; Piroksen, Mag; Magnetit, Am; Amfibol, Hem; Hematit, Shel; cangkang-cangkang)

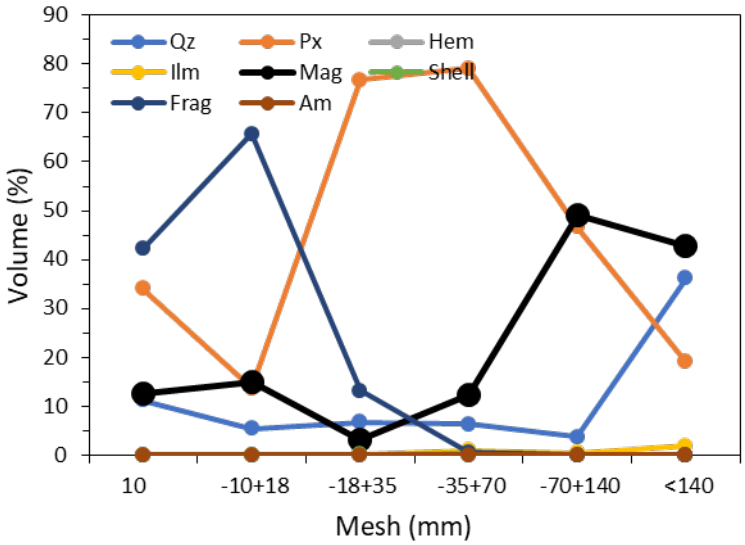


Gambar 12. Persentasi total magnetit pada masing-masing fraksi sampel endapan pasir besi Blok Ciheras-1

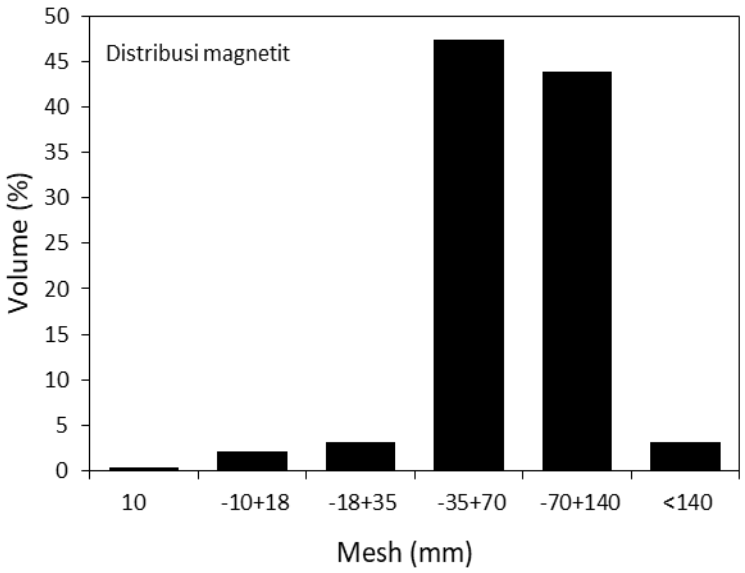


Gambar 13. Persentasi total magnetit pada masing-masing fraksi sampel endapan pasir besi Blok Ciheras-2

Sampel endapan pasir besi Blok Cikalong memiliki rata-rata persentase kehadiran magnetit dalam fraksi butir menunjukkan pola yang meningkat sampai ukuran fraksi -70+140 mesh, kemudian menurun pada fraksi kurang dari 140 mesh (Gambar 14). Distribusi magnetit di Blok Cikalong paling banyak berada pada fraksi ukuran -35+70 mesh (47,4%) diikuti -70+140 mesh (43,9%), <140 mesh (3,2%), -18+35 mesh (3,1%), -10+18 mesh (2,1%) dan 10 mesh (0,3%), pada Gambar 15.



Gambar 14. Distribusi persentase kandungan mineral pada masing-masing fraksi sampel endapan pasir besi Blok Cikalong (Qz; Kuarsa, Ilm; Ilminit, Frag; Fragmen, Px; Piroksen, Mag; Magnetit, Am; Amfibol, Hem; Hematit, Shel; cangkang-cangkang)



Gambar 15. Persentasi total magnetit pada masing-masing fraksi sampel endapan pasir besi Blok Cikalong

Melihat distribusi magnetit secara umum pada masing-masing fraksi dari keseluruhan blok penyelidikan, dapat disimpulkan bahwa magnetit paling banyak terdapat dalam ukuran fraksi -35+70 mesh dan -70+140 mesh. Untuk meningkatkan efisiensi dalam kegiatan penambangan, maka direkomendasikan untuk melakukan proses konsentrasi magnetik terutama pada endapan *crude sand* yang tersaring di kedua mesh tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari kedalaman maksimal 4 meter yang dapat dicapai pada pengeboran dengan menggunakan *hand-auger*, endapan pasir besi di Blok Cikalong masih mengandung magnetit dan masih terdapat endapan pasir besi mengandung magnetit di

kedalaman lebih dari 4 meter. Hasil analisis kimia pada sampel endapan pasir besi menunjukkan bahwa selain Fe terdapat Titanium (Ti) dan Vanadium (V). Kadar senyawa Fe_2O_3 dan TiO_2 yang didapat dari hasil analisis XRF terhadap beberapa sampel *crude sand* menunjukkan korelasi positif pada Blok Ciheras-2 dan Blok Cikalong, semakin tinggi kandungan Fe_2O_3 maka semakin tinggi juga kandungan TiO_2. Vanadium yang berasosiasi dengan mineral magnetit dan ilmenite, menunjukkan hubungan positif antara unsur Fe dan V di Blok Cikalong dan Blok Ciheras 2, dengan koefisien korelasi positif yang sangat kuat sebesar 0,99. Hal ini menunjukkan keterdapatan unsur vanadium berkaitan dengan kehadiran mineral magnetit dan ilmenit.

Total estimasi sumber daya tereka pasir besi pada Blok Ciheras-1, Blok Ciheras-2 dan Blok Cikalong sebesar 1.261.308 ton. Dari kondisi endapan pasir besi di tiga blok tersebut, maka blok yang prospek untuk pengembangan penambangan pasir besi dan memungkinkan menjadi lokasi kegiatan lanjutan terletak di Ciheras-2 dan Blok Cikalong dengan sumber daya tereka masing masing sebesar 512.199 ton dan 491.970 ton. Namun dari segi tata guna lahan, Blok Ciheras-2 merupakan areal perkebunan kelapa untuk pembuatan gula merah yang memiliki nilai ekonomi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya disampaikan kepada Bapak Kepala Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Manajemen Buletin Sumber Daya Geologi dan anggota anggota Tim Prospeksi Pasir Besi Cipatujah tahun 2021. Semoga tulisan ini berguna untuk kemajuan pemanfaatan endapan pasir besi.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2005. Pedoman Teknis Eksplorasi Pasir Besi, Direktorat Sumber Daya Mineral.

Anonim, 2014. Pasir Besi di Indonesia: Geologi, Eksplorasi dan Pemanfaatannya, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, ISBN : 978-602-7928-60-0.

Anonim, 2019, Laporan Akhir Karakteristik Sumber Daya Pasir Besi Untuk Bahan Baku Smelter Skala Kecil di Pantai Selatan Pulau Jawa. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, 2019.

Alzwar, M., Akbar, N., Bachri, S., 1992. Peta Geologi Lembar Garut dan Pamengpeuk, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Asikin, S., Handoyo, A., Busono, H., dan Gafoer, S., 1992, Peta Geologi Lembar Kebumen, Jawa, Skala 1:100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

B., Asikin, S., Harsolumakso., Yulianto, I., 2003, The Collision of the East Java Microplate and Its Implication for Hydrocarbon Occurences in The East Java Basin. Proceedings, Indonesian Petroleum Association 29th Annual Convention and Exhibition, Oktober 2003.

Kusumadinata, K., 1979, Data Dasar Gunung Api Indonesia, Direktorat Vulkanologi, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum, Departemen Pertambangan dan Energi, 820 halaman.

Soetaryo, S., 1996, Potensi Sumber Daya Mineral dan Kebangkitan Pertambangan Indonesia, Pidato Ilmiah disampaikan dihadapan Sidang Terbuka Senat Institut Teknologi Bandung pada penganugerahan gelar Doktor Honorius Causa dalam Ilmu Pengetahuan Teknik tanggal 9 Maret 1996.

Soetaryo, S., 2006, Pendidikan Prospektor Geologi dan Asisten Laboratorium Kimia, Dari Revolusi sampai Globalisasi, Penerbit PT Muria Baru Jokjakarta 2006.

Sribudiyani, Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie,

Sukamto, R., 1975: Geologi Lembar Jampang dan Balekambang, Skala 1:100.000, Direktorat Geologi Bandung

Supriatna, S., Sarmili, L., Sudana, D., Koswara, A., 1992. Peta Geologi Lembar Karangnunggal, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Suryono, Sulistyo, Joko, Wiyoko Aji, 2015, Peleburan tradisional pasir besi Bengawan Solo dan Pasir Besi Merapi Untuk bahan baku Besi Keris dan Pamor Keris, http://repository.isi-ska.ac.id/666/1/lap%20penel%20.pdf, diunduh 10 Juli 2023.

Suwahyadi, Ernowo, Teuku Islah, Dwi Nugroho S, Agus Suparmin, Wahya Krama, 2021, LAPORAN PROSPEKSI PASIR BESI KABUPATEN TASIKMALAYA, PROVINSI JAWA BARAT, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, 284 halaman.

SNI 4726:2019, Pedoman pelaporan hasil eksplorasi, sumber daya, dan cadangan mineral.

Van Zuidam, R.A., 1985. Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Smith Publishers. The Hague, The Netherlands. p.441.

Diterima : 8 Maret 2023
Direvisi : 11 April 2023
Disetujui : 30 November 2023

DERAJAT LATERITISASI DAN PENGAYAAN UNSUR FE-NI-CO PADA BATUAN HARSBURGIT DI PULAU SEBUKU, KALIMANTAN SELATAN

DEGREE OF LATERITIZATION AND ENRICHMENT OF FE-NI-CO ELEMENTS IN HARSBURGITE ROCKS ON SEBUKU ISLAND, SOUTH KALIMANTAN

Fasya Zahra Fauziyyah Ramdani[1], Ayumi Hana Putri Ramdhani[1], Andhi Cahyadi[2], Wahyu Widodo[3], dan Ernowo[3]
[1]Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung
[2]PT. Sebuku Iron Lateritic Ores
[3]Badan Riset dan Inovasi Nasional
fasyazahrafr@gmail.com

ABSTRAK

Iklim tropis di Indonesia menyebabkan tingginya tingkat pelapukan kimiawi atau lateritisasi pada batuan ultrabasa menghasilkan pengayaan unsur-unsur ekonomis diantaranya Fe, Ni dan Co yang terakumulasi pada zona limonit maupun saprolit. Penelitian ini dilakukan di Pulau Sebuku yang didominasi oleh batuan ultrabasa diantaranya adalah harsburgit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh derajat lateritisasi pada zona limonit, saprolit dan batuan asal terhadap pengayaan Fe, Ni dan Co. Sebanyak 95 sampel diambil dari 9 lubang bor dan dianalisis menggunakan XRF untuk mengetahui unsur utama dan unsur ekonomis. Derajat lateritisasi dihitung dari kandungan SiO_2 dibagi dengan akumulasi total SiO_2, Al_2O_3 dan Fe_2O_3 atau S/SAF indeks menggambarkan intensitas dari reaksi kimia. Nilai terendah dari S/SAF indeks menunjukkan derajat lateritisasi yang lebih tinggi. Masing-masing zona limonit, saprolit dan batuan dasar memiliki nilai indeks S/SAF berkisar dari 0,16 s.d. 0,58 (lateritisasi kuat), 0,27 s.d. 0,85 (lateritisasi sedang-kaolinisasi) dan 0,77 s.d. 1,24 (batuan induk). Zona dengan derajat lateritisasi kuat mengandung kadar Fe antara 36% s.d. 51%, Ni 0,80% s.d. 1,38 % dan Co 0,07% s.d. 1,17%. Harsburgit mengandung kadar Fe 4,86% s.d. 7,99%, Ni 0,20% s.d. 1,76% dan Co 0,005% s.d. 0,015%. Derajat lateritisasi di zona limonit lebih tinggi dibandingkan dengan zona saprolit dan batuan dasar harsburgit disebabkan oleh dekomposisi dari mineral silika, pembentukan mineral sekunder pembawa besi dan aluminium oksida-hidroksida. Derajat lateritisasi memiliki hubungan positif dengan pengayaan Fe dan Co, tetapi tidak berkorelasi terhadap pengayaan Ni.

Kata Kunci: harsburgit, derajat lateritisasi, limonit, saprolit, Fe-Ni-Co

ABSTRACT

The tropical climate in Indonesia causes a high level of chemical weathering or lateritization of ultramafic rocks which results in the enrichment of economic elements such as Fe, Ni and Co. These elements accumulate in the limonite and saprolite zones. This research was conducted on Sebuku Island which composed of ultramafic rocks, especially harzburgite. This study aims to determine the effect of the degree of lateritization in the limonite, saprolite and bedrock zones on the enrichment of economic elements. A number of 95 samples collected from 9 drill holes and analyzed using XRF to determine the main elements and economic elements. The degree of lateritization is calculated from the SiO_2 content divided by the total accumulation of SiO_2, Al_2O_3 and Fe_2O_3 resulting the S/SAF index which describes the intensity of the chemical reaction. The lowest value of the S/SAF index indicates a higher degree of lateritization. Each limonite, saprolite and bedrock zone has S/SAF index values ranging from 0.16 to 58 (strong lateritization), 0.27 to 0.85 (medium lateritization-kaolinization) and 0.77 to 1.24 (mother rock).

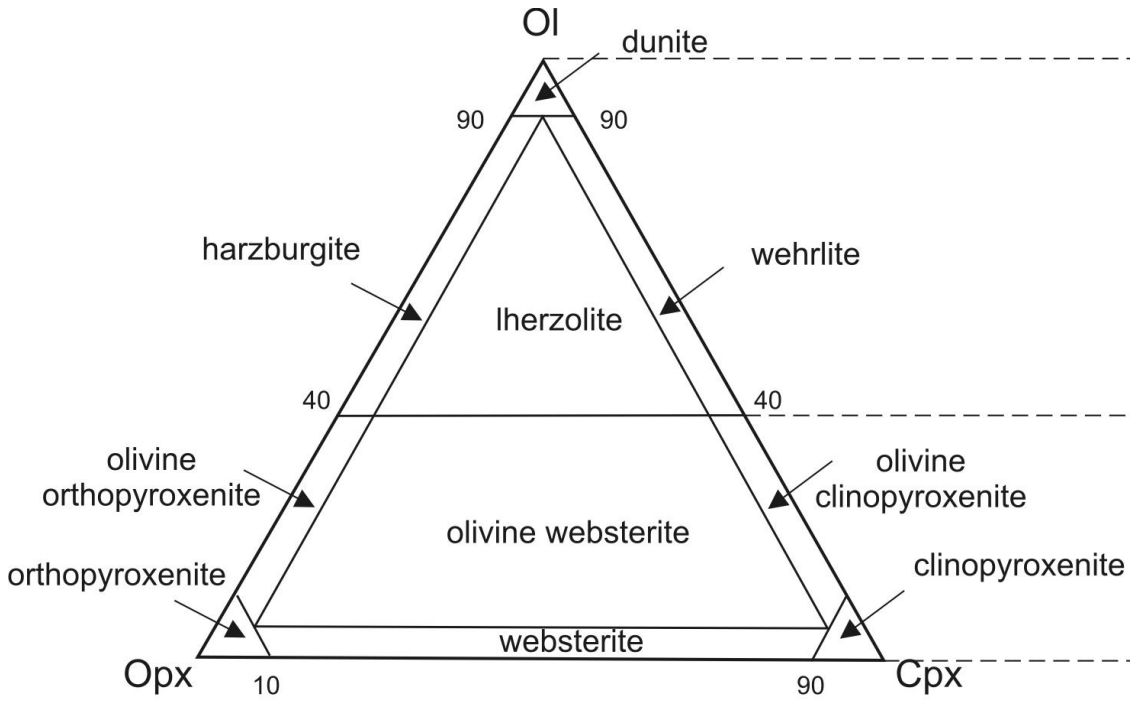
The zone with a strong degree of lateritization contains Fe levels between 36% to 51%, Ni 0.80% to 1.38% and Co 0.07% to 1.17%. The bedrock contains 4.86% to 7.99% Fe, 0.20% to 1.76% Ni and 0.005% to 0.015% Co. The degree of lateritization in the limonite zone is higher than the saprolite and bedrock zones. This is caused by the decomposition of silica minerals to form the iron and aluminum oxide-hydroxide bearing minerals. The degree of lateritization has a positive correlation with the enrichment of Fe and Co. However, the distribution of high Ni not correlated with the index of lateritization.

Keywords: harzburgite, degree of lateritization, limonite, saprolite, Fe-Ni-Co

PENDAHULUAN

Proses lateritisasi merupakan suatu proses pelapukan mekanis dan pelapukan kimiawi yang berjalan bersama secara pervasif pada batuan asal. Proses pelapukan tersebut terjadi dalam kondisi iklim tropis sampai sub-tropis yang lembab pada masa lampau ataupun saat ini (Marsh dkk, 2013; Butt & Cluzel, 2013; Robb, 2020). Proses rombakan, hidrasi, hidrolisis dan oksidasi menyebabkan ubahan pada komposisi batuan asal dan membentuk regolith yang cukup tebal dengan karakteristik tertentu (Robb, 2020). Proses lateritisasi terhadap batuan asal ultrabasa akan mengakibatkan pengayaan beberapa unsur ekonomis seperti besi (Fe), nikel (Ni) dan kobal (Co).

Batuan ultrabasa merupakan bagian utama dari kerak samudera yang bila tersingkap di permukaan dikenal sebagai komplek ofiolit. Batuan ini disusun oleh lebih dari 90% mineral-mineral mafik, yaitu mineral dengan komposisi unsur magnesium (Mg) dan besi (Fe) berupa olivin, ortopiroksin, klinopiroksin dan hornblende. **Gambar 1.** menunjukkan klasifikasi batuan ultrabasa berdasar komposisi olivin, ortopiroksin dan klinopiroksin (Streickeisen, 1973). Batuan ultrabasa yang mengalami metamorfosa akan membentuk batuan serpentinit.



Gambar 1. Klasifikasi batuan ultrabasa dengan komposisi olivin dibawah 40% dikelompokkan sebagai piroksenit, dan yang diatas 40% dikelompokkan sebagai peridotit (Streickeisen, 1973). Ol : olivin, Opx: ortopiroksin, Cpx: clinopiroksin

Lateritisasi pada batuan ultrabasa umumnya menghasilkan profil bijih dari bagian bawah setelah batuan dasar berupa saprolit dan limonit yang pada bagian atasnya ditutupi *ferricrete* (Marsh dkk., 2013; Robb 2020).

Lokasi penelitian berada di Pulau Sebuku merupakan kompleks ofiolit yang mengandung batuan ultrabasa sebagai salah satu batuan penyusunnya **(Gambar 2)**. Secara administratif berada di dalam wilayah Kecamatan Pulau Sebuku, Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan dan masuk dalam area Izin Usaha Pertambangan PT. Sebuku Iron Lateritic Ores (PT. SILO). Berdasarkan hasil inventarisasi Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, pada tahun 2021, sumber daya bijih besi Pulau Sebuku berjumlah 239.659.703 wmt (2,7% dari total sumber daya nasional) dan cadangan bijihnya mencapai 90.411.391 wmt (4,97% dari total cadangan nasional) (PSDMBP, 2021) dan ditambang sebagai komoditas utama.

Tujuan Penelitian

Dengan mengetahui derajat lateritisasi, maka selanjutnya dapat mengetahui kandungan besi yang terkandung pada zona limonit, karena semakin tinggi derajat lateritisasi artinya proses pencucian atau pemisahan antara mineral *mobile* dan *immobile* akan semakin baik. Sehingga dalam proses penambangan dan pengolahan akan meningkatkan produktivitas secara signifikan, hal ini disebabkan karena endapan laterit tersebut telah melalui proses pelapukan yang terjadi secara terus-menerus.

Geologi Daerah Penelitian

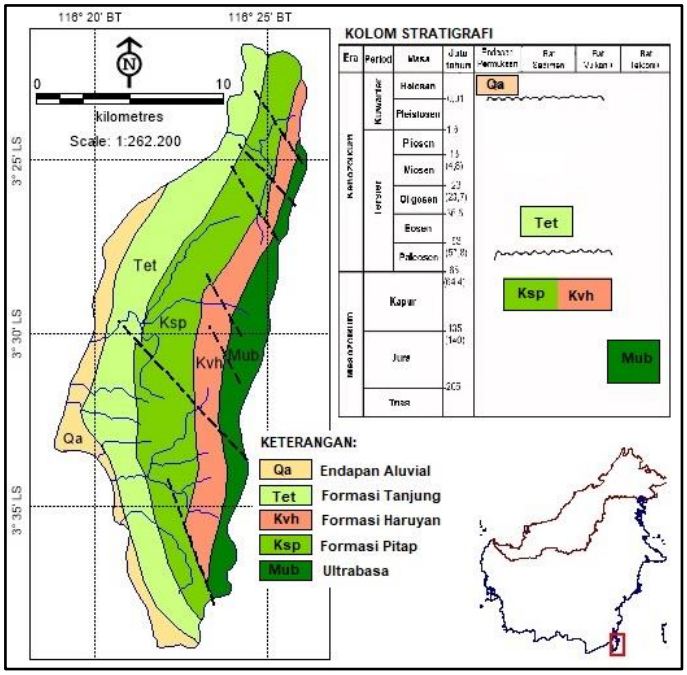
Berdasarkan peta geologi regional lembar Kotabaru (Rustandi, dkk, 1995), Pulau Sebuku tersusun oleh empat satuan/formasi batuan dengan urutan stratigrafi dari tua ke muda adalah satuan batuan ultrabasa, Formasi Pitab, Formasi Haruyan dan Formasi Tanjung serta endapan alluvial **(Gambar 2)**.

Satuan batuan ultrabasa (Mub) merupakan batuan dasar berumur Jura yang diperkirakan bagian dari kerak samudra yang terdiri dari lerzolit, harsburgit, dunit, gabro, dan basal yang umumnya telah terserpentinisasi. Formasi Pitap (Ksp) berumur Kapur yang terdiri dari perselingan batupasir, batulanau, konglomerat dengan sisipan batugamping, breksi aneka bahan,

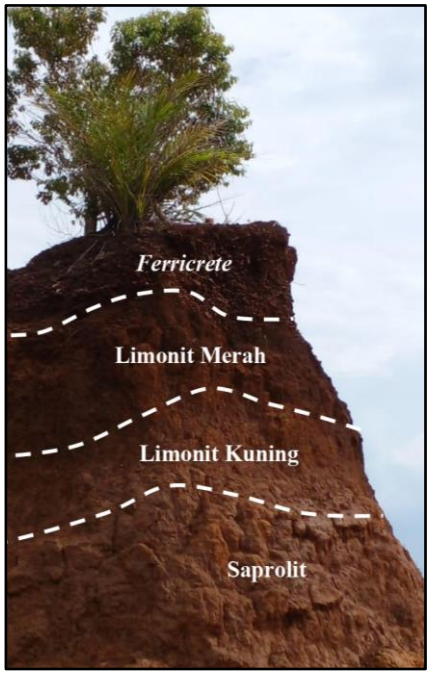
Formasi Haruyan (Kvh) terdiri dari lava basal, breksi gunungapi dan tufa, formasi ini yang secara horizontal menjemari dengan Formasi Pitap. Formasi Tanjung (Tet), berumur Eosen merupakan perselingan antara konglomerat, batupasir, batulanau dengan sisipan serpih dan batubara dan batugamping, secara tidak selaras menutup Formasi Pitap.

Endapan aluvial (Qa) terdiri dari aluvial sungai, endapan rawa, dan endapan pantai yang merupakan endapan permukaan yang menempati dataran pantai dan sepanjang sungai berupa endapan pasir dan lumpur. Struktur geologi yang berkembang di daerah ini adalah sesar dengan arah umum arat laut – tenggara.

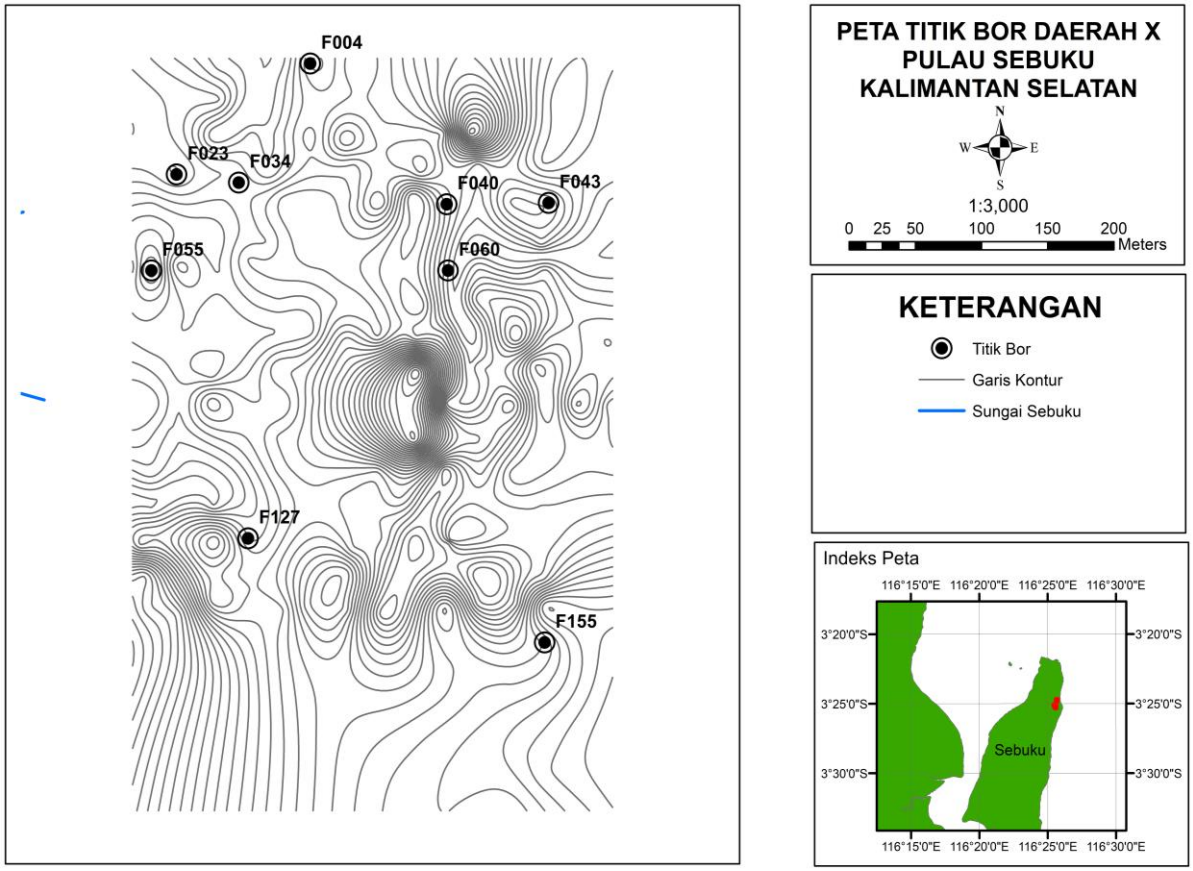
Seperti halnya endapan laterit pada umumnya, profil laterit di daerah penelitian dibagi menjadi 3 zona utama yaitu saprolit, limonit dan *ferricrete* (**Gambar 3**). Zona limonit bisa dibagi menjadi 2 yaitu limonit kuning dan limonit merah.



Gambar 2. Peta Lokasi dan Geologi Regional Daerah Penelitian (Rustandi dkk., 1995)



Gambar 3. Profil Laterit di Daerah Penelitian



Gambar 4. Peta Lokasi Pengeboran Daerah Penelitian

METODOLOGI

Pengeboran dilakukan pada 9 titik dengan variasi kedalaman antara 5 meter s.d. 10 meter. (Gambar 4). Sebanyak 95 sampel inti bor diambil dari batuan dasar, zona saprolit dan zona limonit masing-masing sebanyak 35, 33 dan 27 sampel. Analisis geokimia dengan metode X-Ray Flourescene (XRF) dilakukan menggunakan alat S8 Tiger Bruker di Laboratorium PT. SILO, Sebuku. Satu sampel batuan dasar dilakukan analisis petrografi menggunakan Stereomikroskop Binokuler Carl Zeiss V-20 di Laboratorium Politeknik Energi dan Pertambangan, Bandung.

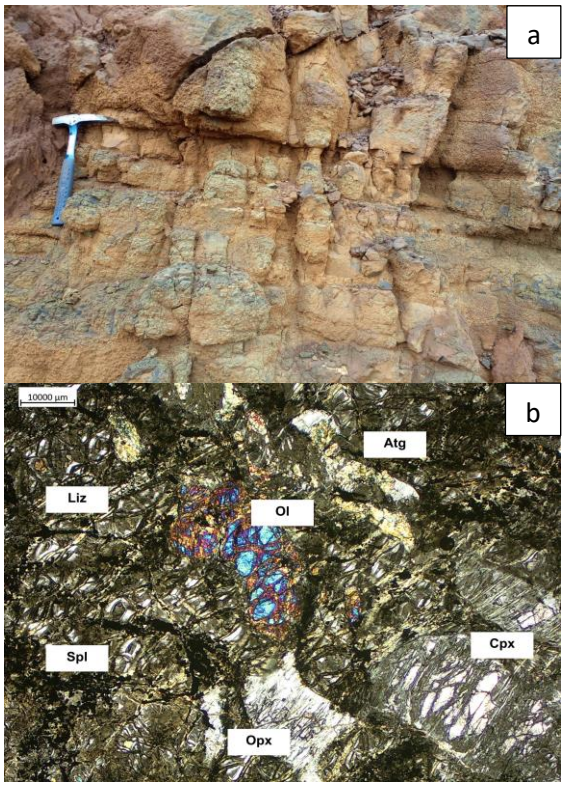
HASIL DAN PEMBAHASAN

Petrografi

Nop Singkapan batuan dasar ultrabasa secara intensif terpotong oleh sesar dan rekahan sehingga mempercepat proses pelapukan karena resapan air dan oksidasi **(Gambar 5.a)**. Analisis petrografi batuan asal dari inti pengeboran F060 menunjukkan jenis batuan harsburgit yang sudah mengalami serpentinisasi kuat **(Gambar 5.b)**. Batuan memiliki tekstur holokristalin, porfiritik dengan bentuk butir anhedral – sub hedral. Mineral penyusun batuan adalah olivin, klinopiroksen, ortopiroksen, serpentine (antigorite, lizardit, krisotil), dan mineral opak.

Kandungan unsur-unsur mayor dari hasil analisis *X-ray Fluorescence* diantarannya berupa SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3 dan MgO **(Tabel 1)**. Pelapukan kimia pada batuan ultrabasa salah satunya dipengaruhi oleh adanya iklim tropis. Kondisi iklim yang terjadi di Indonesia menyebabkan curah hujan yang tinggi dan mengalami pergantian musim panas yang sangat cepat. Pergantian cuaca itulah yang menyebabkan terjadinya proses pelapukan. Selama terjadinya proses pelapukan, air meteorik yang bersifat asam akan berinteraksi dengan batuan ultrabasa, sehingga rasio MgO/SiO_2 akan mengalami penambahan H_2O. Penambahan tersebut akan menyebabkan unsur *mobile* seperti MgO+CaO+SiO akan lepas sehingga dapat mempengaruhi terjadinya perubahan mineral primer menjadi mineral sekunder dalam bentuk oksihidroksida, misalnya hematit (Rollinson, 2014).

Akibat dari proses oksidasi yang tinggi, terjadi pula proses disolusi yang melarutkan mineral-mineral lain yang bersifat *mobile* dari unsur-unsur yang larut seperti Ni. Kisaran rasio MgO/SiO_2 pada limonit, saprolit dan batuan dasar masing-masing adalah 0,16 s.d. 0,58, 0,27 s.d. 0,85 dan 0,77 s.d. 1,24. Kadar MgO dan SiO_2 yang merupakan komposisi unsur penyusun mineral dalam batuan asal harsburgit semakin berkurang pada zona laterit akibat proses pelapukan dan pelarutan **(Gambar 6)**. Rasio MgO/SiO_2 yang tinggi pada batuan dasar tersebut menunjukkan bahwa harsburgit sudah mengalami serpentinisasi yang kuat (Aquino dkk., 2021).



Gambar 5. a Singkapan Harsburgit di Lokasi Penelitian. **B** Foto Mikrografi Harsburgit F060 , sayatan X nikol (ol: olivine, opx: orthopiroksen, cpx: klinopiroksen, liz: lizardit, atg: antigorite, spl: spinel)

Tabel 1. Hasil Analisis XRF Unsur-Unsur Utama (dalam %) dan Perhitungan Derajat Lateritisasi

Titik Bor	Zona	Kedalaman (m)	FeO	NiO	AL2O3	P2O5	SiO2	MgO	Cr2O3	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	SO2	Fe2O3	Fe	Ni	Co	SAF	S/SAF	MgO/SiO2
CB005	Limonit	0 - 1	63.55	1.06	7.56	0.11	4.11	0.85	3.09	0.71	0.01	0.01	0.01	0.20	0.01	72.12	49.39	0.83	0.07	83.79	0.05	0.21
		1 - 2.0	62.10	1.28	3.99	0.09	5.41	1.76	3.12	1.03	0.04	0.01	0.01	0.19	0.01	70.48	48.27	1.01	0.10	79.89	0.07	0.32
	Saprolit	2 - 2.4	30.39	1.03	4.83	0.03	27.51	20.70	1.62	0.51	0.16	0.04	0.01	0.06	0.01	59.67	23.62	0.81	0.05	92.00	0.30	0.75
	Harsburgit	2.4 - 3.5	8.17	0.48	0.53	0.01	38.62	37.41	0.40	0.12	0.39	0.23	0.01	0.01	0.01	8.58	6.35	0.38	0.01	47.73	0.81	0.97
CB016	Limonit	0 - 1	64.93	1.25	6.03	0.12	3.90	0.88	3.37	0.88	0.01	0.01	0.01	0.16	0.01	73.69	50.47	0.98	0.10	83.63	0.05	0.22
		1 - 1.5	64.75	1.49	6.31	0.09	4.08	1.07	2.30	0.99	0.01	0.01	0.01	0.16	0.01	73.49	50.33	1.17	0.11	83.87	0.05	0.26
	Saprolit	1.5 - 2	11.70	1.58	0.87	0.01	39.04	32.37	0.63	0.18	0.27	0.17	0.01	0.01	0.01	13.28	9.10	1.24	0.02	53.19	0.73	0.83
	Harsburgit	2 - 2.4	9.98	1.14	1.23	0.01	40.60	32.35	0.54	0.15	0.45	0.18	0.01	0.01	0.01	9.11	7.76	0.89	0.01	50.94	0.80	0.80
		2.4 - 3	7.95	0.37	0.74	0.01	38.87	36.62	0.39	0.12	0.64	0.19	0.01	0.01	0.01	7.25	6.18	0.29	0.01	46.87	0.83	0.94
CB089	Limonit	0 - 1	64.33	1.40	5.87	0.12	4.28	0.96	3.83	1.05	0.00	0.01	0.01	0.14	0.01	73.02	50.00	1.10	0.12	83.16	0.05	0.22
		1 - 1.6	65.12	1.76	5.40	0.09	4.69	1.18	3.70	1.14	0.00	0.01	0.01	0.13	0.01	73.91	50.62	1.38	0.12	84.00	0.06	0.25
	Harsburgit	1.6 - 2.6	9.15	0.92	0.60	0.01	38.69	36.25	0.39	0.14	0.17	0.19	0.01	0.01	0.01	8.35	7.11	0.72	0.01	47.64	0.81	0.94
		2.6 - 3.2	7.64	0.30	0.75	0.01	37.36	38.76	0.39	0.11	0.37	0.20	0.01	0.01	0.01	6.97	5.94	0.23	0.01	45.09	0.83	1.04
CB105	Limonit	0 - 0.48	57.75	1.21	7.67	0.10	6.12	1.37	3.03	0.82	0.03	0.01	0.01	0.18	0.01	65.55	44.89	0.95	0.10	79.33	0.08	0.22
		0.48 - 1.25	61.70	1.31	8.15	0.08	4.73	0.80	3.09	1.07	0.00	0.01	0.01	0.18	0.01	70.02	47.96	1.03	0.13	82.91	0.06	0.17
		1.25 - 2	60.87	1.68	7.08	0.05	5.90	2.43	3.28	1.00	0.00	0.01	0.02	0.14	0.01	69.09	47.32	1.32	0.11	82.07	0.07	0.41
		2 - 2.3	45.21	1.77	6.44	0.03	16.95	9.99	2.93	0.77	0.02	0.01	0.01	0.11	0.01	51.31	35.14	1.39	0.08	74.69	0.23	0.59
		2.3 - 2.6	54.71	1.67	6.73	0.04	10.06	5.88	3.22	0.90	0.00	0.01	0.01	0.13	0.01	62.10	42.53	1.31	0.09	78.89	0.13	0.58
	Saprolit	2.6 - 2.81	31.61	1.69	4.83	0.01	27.51	17.50	2.03	0.50	0.03	0.01	0.01	0.08	0.01	35.88	24.57	1.33	0.05	68.22	0.40	0.64
		2.81 - 3.2	17.84	1.48	3.38	0.01	35.73	26.92	1.12	0.27	0.11	0.11	0.01	0.05	0.01	20.24	13.86	1.16	0.03	59.36	0.60	0.75
		3.2 - 3.55	11.75	1.23	2.53	0.01	39.11	31.49	0.73	0.16	0.29	0.16	0.01	0.03	0.01	13.33	9.13	0.97	0.02	54.97	0.71	0.81
		3.55 - 3.85	15.52	1.26	2.78	0.01	38.10	28.34	0.89	0.21	0.26	0.14	0.01	0.03	0.01	17.62	12.06	0.99	0.02	58.49	0.65	0.74
	Harsburgit	3.85 - 4.3	9.01	0.81	1.41	0.01	40.08	34.93	0.74	0.12	0.34	0.18	0.01	0.01	0.01	10.22	7.00	0.64	0.01	51.71	0.78	0.87
		4.3 - 5	6.58	0.29	0.57	0.01	40.80	37.44	0.53	0.09	0.80	0.22	0.01	0.01	0.01	7.46	5.11	0.23	0.01	48.83	0.84	0.92
		5 - 5.5	6.93	0.26	0.59	0.01	39.18	37.97	0.55	0.10	0.87	0.19	0.01	0.01	0.01	7.86	5.38	0.21	0.01	47.63	0.82	0.97
CB113	Limonit	0 - 1	65.21	1.23	5.77	0.12	3.91	0.80	5.64	1.01	0.06	0.01	0.01	0.14	0.01	74.01	50.68	0.97	0.12	83.69	0.05	0.21
		1 - 2.0	65.50	1.45	4.75	0.06	3.48	1.34	6.23	1.24	0.00	0.01	0.01	0.10	0.01	74.34	50.91	1.14	0.18	82.58	0.04	0.38
	Saprolit	2 - 2.3	64.20	1.82	3.62	0.06	5.04	2.15	5.90	1.25	0.00	0.01	0.01	0.08	0.01	72.87	49.90	1.43	0.23	81.52	0.06	0.43
		2.3 - 3	24.01	2.44	0.90	0.01	31.79	24.07	2.46	0.38	0.00	0.06	0.01	0.01	0.01	27.25	18.66	1.91	0.06	59.95	0.53	0.76
		3 - 3.6	20.32	2.10	0.88	0.01	34.69	25.73	2.47	0.31	0.00	0.08	0.01	0.01	0.01	23.06	15.79	1.65	0.03	58.64	0.59	0.74
	Harsburgit	3.6 - 4	9.49	0.65	0.38	0.01	39.18	35.60	0.65	0.13	0.00	0.18	0.01	0.01	0.01	8.66	7.38	0.51	0.01	48.21	0.81	0.91
		4 - 4.25	9.80	0.67	0.68	0.01	38.01	35.44	1.24	0.13	0.03	0.23	0.01	0.01	0.01	11.13	7.62	0.53	0.01	49.82	0.76	0.93
		4.25 - 4.8	9.66	0.38	0.29	0.01	36.86	37.05	0.27	0.14	0.03	0.17	0.01	0.01	0.01	10.96	7.51	0.30	0.02	48.11	0.77	1.00
		4.8 - 5	8.37	0.32	0.39	0.01	34.30	39.18	0.45	0.11	0.15	0.19	0.01	0.01	0.01	7.38	6.50	0.25	0.01	42.08	0.82	1.14
		5 - 6.0	8.38	0.30	0.64	0.01	32.53	40.46	0.80	0.11	0.26	0.19	0.01	0.01	0.01	9.51	6.51	0.23	0.01	42.67	0.76	1.24

Tabel 1. Hasil Analisis XRF Unsur-Unsur Utama (dalam %) dan Perhitungan Derajat Lateritisasi (lanjutan)

Titik Bor	Zona	Kedalaman (m)	FeO	NiO	AL2O3	P2O5	SiO2	MgO	Cr2O3	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	SO2	Fe2O3	Fe	Ni	Co	SAF	S/SAF	MgO/SiO2
CB123	Limonit	0 - 1	56.82	1.20	8.61	0.10	7.29	1.35	2.96	1.22	0.06	0.01	0.01	0.18	0.01	64.49	44.17	0.94	0.12	80.40	0.09	0.19
		1 - 1.39	57.18	1.46	9.24	0.08	7.54	2.11	2.93	1.46	0.08	0.01	0.01	0.18	0.01	64.90	44.45	1.15	0.13	81.69	0.09	0.28
	Saprolit	1.89 - 2.35	43.97	2.22	5.52	0.03	21.79	7.79	2.33	0.75	0.23	0.01	0.01	0.10	0.01	49.90	34.18	1.74	0.07	77.21	0.28	0.36
		2.35 - 3	21.33	2.03	2.65	0.01	35.89	22.76	1.26	0.37	0.17	0.08	0.01	0.03	0.01	24.21	16.58	1.59	0.03	62.76	0.57	0.63
		3 - 3.44	12.96	1.50	1.62	0.01	39.72	29.90	0.78	0.21	0.50	0.18	0.01	0.01	0.01	14.71	10.07	1.18	0.02	56.05	0.71	0.75
		3.44 - 3.72	18.15	1.74	1.71	0.01	37.41	25.96	1.30	0.33	0.12	0.12	0.01	0.01	0.01	20.59	14.10	1.37	0.03	59.71	0.63	0.69
		4 - 4.6	11.97	1.15	1.61	0.01	38.79	31.53	0.72	0.20	0.13	0.17	0.01	0.01	0.01	13.58	9.30	0.90	0.02	53.98	0.72	0.81
	Harsburgit	1.39 - 1.89	9.39	1.69	1.72	0.01	40.44	32.78	0.49	0.15	0.95	0.23	0.01	0.01	0.01	10.66	7.30	1.33	0.01	52.82	0.77	0.81
		3.72 - 4	9.13	1.13	0.76	0.01	39.76	34.92	0.49	0.14	0.08	0.23	0.01	0.01	0.01	10.36	7.10	0.89	0.01	50.89	0.78	0.88
		4.6 - 5	8.50	0.80	1.07	0.01	39.39	35.48	0.46	0.13	0.16	0.19	0.01	0.01	0.01	9.64	6.61	0.63	0.01	50.11	0.79	0.90
		5.0 - 6.0	7.66	0.27	0.78	0.01	37.42	38.45	0.37	0.11	0.49	0.20	0.01	0.01	0.01	8.69	5.95	0.22	0.01	46.90	0.80	1.03
CB158R	Limonit	0 - 0.5	60.60	1.12	8.35	0.10	4.61	1.25	3.54	0.72	0.02	0.01	0.01	0.16	0.01	68.78	47.11	0.88	0.08	81.75	0.06	0.27
		0.5 - 1	63.04	1.08	8.83	0.07	4.00	1.09	3.57	0.83	0.01	0.01	0.01	0.17	0.01	71.55	49.00	0.85	0.10	84.38	0.05	0.27
		1 - 2.0	64.50	1.19	7.75	0.06	3.45	1.09	3.61	0.90	0.01	0.01	0.01	0.15	0.01	73.21	50.14	0.94	0.10	84.41	0.04	0.32
		2 - 2.25	64.16	1.52	6.44	0.04	4.24	1.46	3.97	1.04	0.01	0.01	0.01	0.13	0.01	72.83	49.88	1.20	0.11	83.51	0.05	0.35
	Saprolit	2.25 - 3	22.49	2.36	1.51	0.02	32.81	24.98	1.46	0.37	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	25.53	17.48	1.86	0.04	59.84	0.55	0.76
		3 - 4.0	13.37	2.12	0.63	0.01	38.30	31.06	1.03	0.22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	15.17	10.39	1.66	0.03	54.10	0.71	0.81
		4 - 4.5	12.31	2.26	0.54	0.01	37.87	32.27	1.02	0.20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	13.97	9.57	1.78	0.02	52.39	0.72	0.85
		4.5 - 5.0	11.10	1.73	0.44	0.01	38.99	33.33	0.81	0.15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	12.60	8.63	1.36	0.02	52.03	0.75	0.85
		5 - 5.41	9.40	1.48	0.32	0.01	40.58	34.39	0.64	0.13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.66	7.30	1.17	0.02	51.57	0.79	0.85
		5.41 - 6	10.40	1.12	0.40	0.01	39.89	34.12	0.81	0.13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	11.81	8.09	0.88	0.02	52.09	0.77	0.86
		6 - 6.35	11.23	1.04	0.37	0.01	39.64	33.51	0.84	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	12.75	8.73	0.82	0.02	52.75	0.75	0.85
	Harsburgit	6.35 - 7	6.62	0.41	0.24	0.01	38.23	39.60	0.49	0.09	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	7.52	5.15	0.32	0.01	45.99	0.83	1.04
		7 - 8.0	6.26	0.42	0.18	0.01	35.03	41.00	0.48	0.09	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	7.11	4.87	0.33	0.01	42.31	0.83	1.17

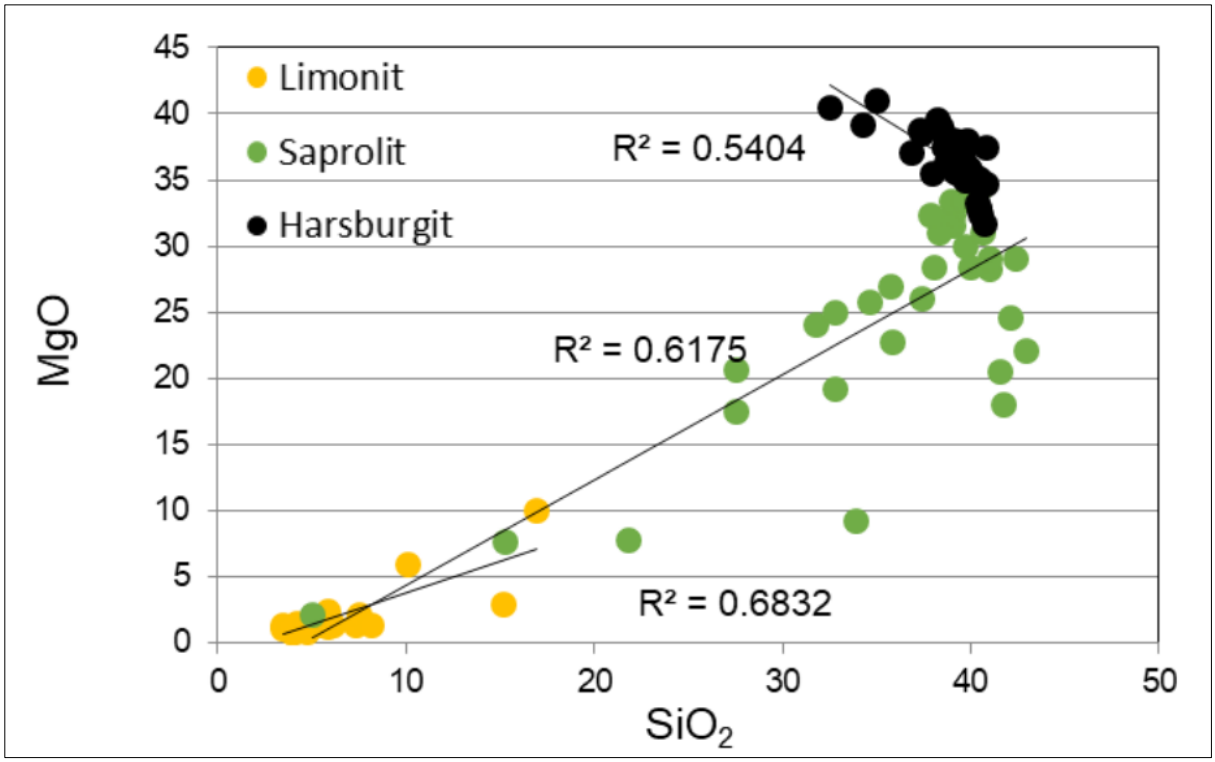
Tabel 1. Hasil Analisis XRF Unsur-Unsur Utama (dalam %) dan Perhitungan Derajat Lateritisasi (lanjutan)

Titik Bor	Zona	Kedalaman (m)	FeO	NiO	AL2O3	P2O5	SiO2	MgO	Cr2O3	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	SO2	Fe2O3	Fe	Ni	Co	SAF	S/SAF	MgO/SiO2
CB153	Limonit	0 - 1	56.88	1.02	10.07	0.08	8.16	1.36	2.90	0.81	0.06	0.01	0.01	0.18	0.01	64.55	44.21	0.80	0.09	82.78	0.10	0.17
		1 - 2.0	59.89	1.16	10.70	0.04	5.84	1.17	2.74	0.97	0.01	0.01	0.01	0.20	0.01	67.98	46.56	0.91	0.09	84.52	0.07	0.20
		2 - 2.32	50.87	1.43	9.83	0.04	15.19	2.93	2.57	0.86	0.25	0.01	0.01	0.18	0.01	57.74	39.54	1.12	0.08	82.75	0.18	0.19
	Saprolit	2.32 - 3	31.03	1.83	7.04	0.02	33.91	9.18	1.84	0.55	0.22	0.01	0.01	0.12	0.01	35.22	24.12	1.44	0.05	76.17	0.45	0.27
		3 - 3.5	18.26	1.66	5.62	0.01	41.75	17.98	1.27	0.28	0.05	0.01	0.01	0.09	0.01	20.72	14.19	1.31	0.03	68.10	0.61	0.43
		3.5 - 3.71	16.87	1.61	4.89	0.01	41.56	20.51	1.12	0.27	0.10	0.01	0.01	0.08	0.01	19.15	13.12	1.27	0.03	65.61	0.63	0.49
		3.71 - 4	11.52	1.14	3.72	0.01	40.98	28.26	0.81	0.14	0.41	0.01	0.01	0.06	0.01	13.08	8.96	0.90	0.02	57.78	0.71	0.69
		4 - 4.39	14.48	1.46	4.09	0.01	42.91	22.13	0.98	0.19	1.28	0.01	0.01	0.07	0.01	16.44	11.26	1.15	0.02	63.44	0.68	0.52
		4.39 - 4.75	9.72	1.23	2.80	0.01	42.42	29.08	0.65	0.14	1.58	0.01	0.01	0.04	0.01	11.03	7.56	0.97	0.01	56.25	0.75	0.69
		5 - 5.6	13.09	1.42	3.34	0.00	42.15	24.52	0.87	0.21	0.86	0.01	0.01	0.05	0.01	14.86	10.18	1.12	0.02	60.35	0.70	0.58
		6 - 6.2	11.83	1.36	2.04	0.00	41.06	29.00	0.78	0.16	0.23	0.01	0.01	0.03	0.01	13.42	9.19	1.07	0.02	56.52	0.73	0.71
	Harsburgit	4.75 - 5	7.00	0.75	1.76	0.00	40.84	34.69	0.43	0.10	1.24	0.01	0.01	0.03	0.01	7.95	5.44	0.59	0.01	50.55	0.81	0.85
		5.6 - 6	8.48	1.10	2.31	0.00	40.45	32.73	0.53	0.12	0.79	0.01	0.01	0.04	0.01	9.63	6.59	0.87	0.01	52.39	0.77	0.81
		6.2 - 7	6.78	0.35	1.22	0.00	39.19	37.55	0.32	0.09	0.18	0.01	0.01	0.02	0.01	7.69	5.27	0.28	0.01	48.10	0.81	0.96
		7 - 7.65	6.62	0.45	1.40	0.00	39.23	37.11	0.41	0.09	0.61	0.01	0.01	0.02	0.01	7.51	5.14	0.36	0.01	48.14	0.81	0.95
		7.65 - 8	10.29	0.95	1.67	0.08	40.73	31.67	0.67	0.14	0.12	0.01	0.01	0.03	0.01	11.68	8.00	0.74	0.02	54.09	0.75	0.78
		8 - 9.0	8.24	0.58	0.71	0.00	39.94	35.84	0.51	0.11	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	9.35	6.40	0.45	0.01	50.00	0.80	0.90
		9 - 10.0	7.97	0.60	1.04	0.00	39.90	35.86	0.49	0.11	0.10	0.01	0.01	0.02	0.01	9.05	6.20	0.47	0.01	49.99	0.80	0.90
		10 - 11.0	8.84	0.62	0.75	0.00	40.31	35.24	0.58	0.11	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	10.03	6.87	0.49	0.02	51.09	0.79	0.87
		11 - 12.0	7.11	0.40	0.28	0.00	39.87	37.93	0.43	0.10	0.16	0.01	0.01	0.01	0.01	8.06	5.52	0.31	0.01	48.21	0.83	0.95
		12 - 13.0	7.00	0.33	0.27	0.00	38.40	39.06	0.41	0.10	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	7.94	5.44	0.26	0.01	46.61	0.82	1.02
		13 - 14.0	6.79	0.31	0.79	0.00	38.56	38.57	0.40	0.10	0.23	0.01	0.01	0.01	0.01	7.70	5.28	0.24	0.01	47.06	0.82	1.00
		14 - 14.35	7.38	0.41	0.93	0.00	39.67	37.04	0.45	0.10	0.25	0.01	0.01	0.01	0.01	8.37	5.73	0.32	0.01	48.97	0.81	0.93
CB155	Limonit	0 -1	59.87	1.14	9.37	0.00	5.47	1.36	2.89	0.98	0.03	0.01	0.01	0.16	0.01	67.95	46.54	0.89	0.10	82.79	0.07	0.25
		1.-2	62.62	1.23	8.65	0.00	4.35	1.15	2.91	1.09	0.01	0.01	0.01	0.14	0.01	71.07	48.67	0.97	0.11	84.07	0.05	0.26
		2.- 3	64.41	1.38	6.27	0.03	3.87	1.15	3.59	1.30	0.01	0.01	0.01	0.10	0.01	73.10	50.06	1.08	0.12	83.23	0.05	0.30
		3.-4	63.41	1.35	7.59	0.02	3.89	1.22	3.39	1.27	0.01	0.01	0.01	0.13	0.01	71.97	49.29	1.06	0.13	83.45	0.05	0.31
		4.-4,4	63.75	1.65	6.30	0.02	4.67	1.30	3.56	1.30	0.01	0.01	0.01	0.11	0.01	72.36	49.55	1.30	0.12	83.33	0.06	0.28
	Saprolit	4.4 - 5	49.88	2.08	5.08	0.03	15.25	7.63	3.16	0.91	0.30	0.01	0.01	0.09	0.01	56.61	38.77	1.64	0.08	76.93	0.20	0.50
		5 - 5.45	25.34	2.25	4.66	0.02	32.81	19.21	1.71	0.45	0.89	0.01	0.01	0.08	0.01	28.77	19.70	1.77	0.04	66.23	0.50	0.59
		5.65 - 6.35	12.42	2.26	1.82	0.00	39.96	28.33	0.84	0.20	0.98	0.01	0.01	0.05	0.01	12.47	9.65	1.78	0.02	54.24	0.74	0.71
		6.35 - 7	10.98	2.01	2.02	0.00	40.61	31.00	0.62	0.17	0.41	0.01	0.01	0.03	0.01	40.96	8.54	1.58	0.02	83.59	0.49	0.76
	Harsburgit	5.45 - 5.65	8.47	2.25	3.01	0.00	40.37	33.24	0.49	0.13	1.39	0.01	0.01	0.03	0.01	14.10	6.58	1.77	0.01	57.48	0.70	0.82
		7.0 - 8.0	8.09	0.94	1.80	0.00	40.43	35.13	0.49	0.12	1.32	0.01	0.01	0.03	0.01	9.18	6.28	0.74	0.01	51.41	0.79	0.87
		8.0 - 9.0	7.96	0.46	1.45	0.00	39.47	36.77	0.39	0.12	1.09	0.01	0.01	0.02	0.01	9.03	6.18	0.36	0.01	49.95	0.79	0.93
		9.0 - 10	7.74	0.42	1.27	0.00	38.65	37.45	0.34	0.12	0.89	0.01	0.01	0.02	0.01	8.79	6.02	0.33	0.01	48.71	0.79	0.97

Derajat Lateritisasi

Derajat lateritisasi adalah tingkatan terjadinya proses pembentukan tanah laterit atau proses lateritisasi akibat pelapukan dari batuan dasar (Taylor, 1964). Derajat lateritisasi merupakan nilai kebalikan dari indeks S/SAF, dimana nilai S/SAF dihitung dari SiO_2 / (SiO_2 + Fe_2O_3 + Al_2O_3). **Gambar** 7 menunjukkan derajat lateritisasi dari 9 profil lubang bor di daerah penelitian. Secara umum, zona limonit memiliki indeks S/SAF berkisar antara 0,04 s.d. 0,22 (derajat lateritisasi kuat), saprolit 0,06 s.d. 0,78 (derajat lateritisasi sedang hingga kaolinisasi) dan batuan dasar antara 0,70 s.d. 0,83. Pengayaan kadar Fe-Ni-Co pada zona laterit dengan derajad laterisasinya ditunjukkan pada Tabel 2.

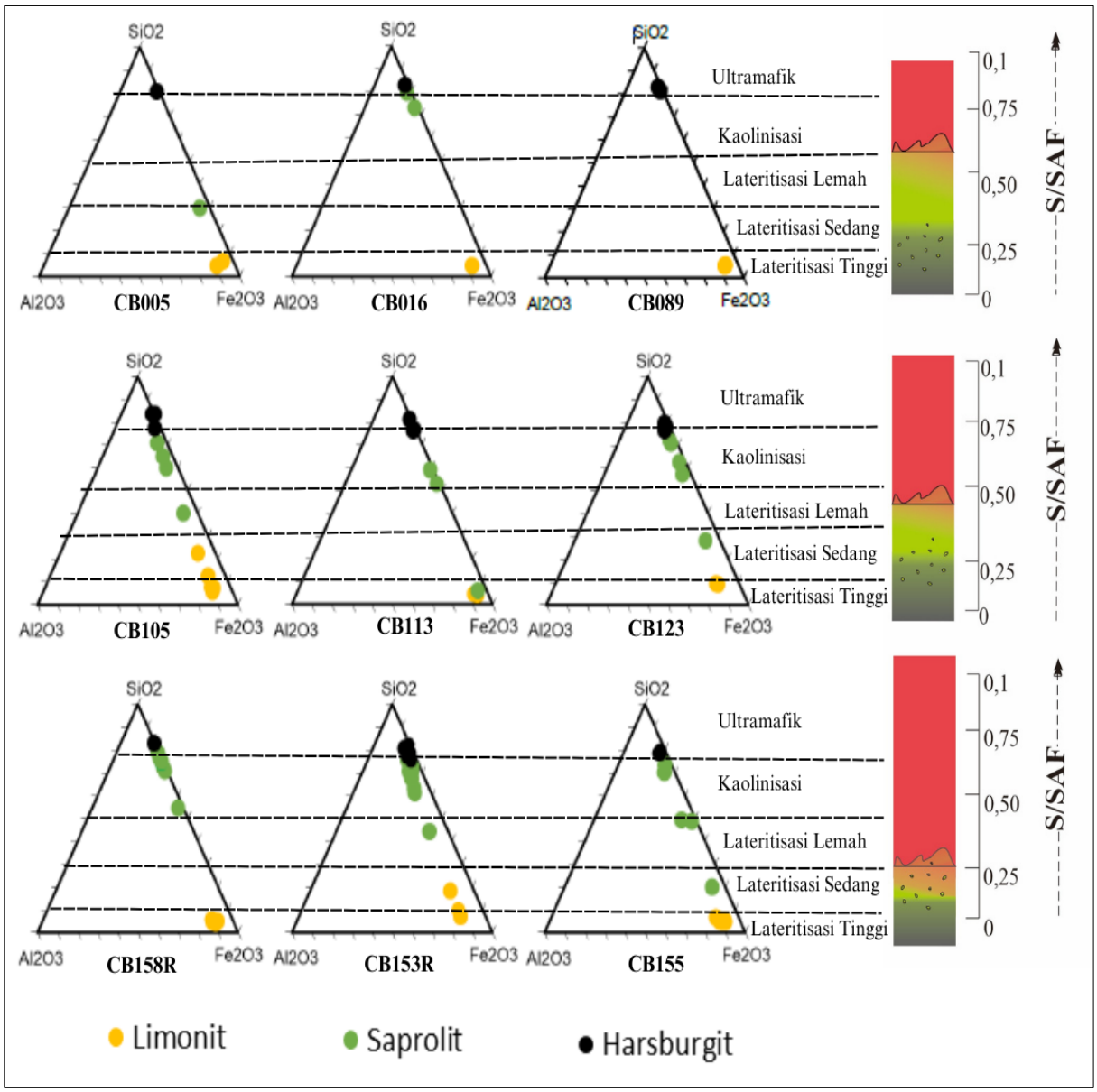
Proses pelapukan kimia mengubah mineral mafik plagioklas dan hornblende menjadi mineral oksida seperti hematit, goetit, dan maghemite (Rollinson, 2014). Adanya mineral mafik mengakumulasi Fe dengan kandungan minimal 47% dan Co berada pada zona limonit bagian atas. Tingkat lateritisasi yang tinggi menghasilkan tingkat disolusi yang lebih tinggi. Hal ini akan berdampak pada keberadaan Ni pada zona limonit karena akan larut dan terakumulasi pada zona saprolit dengan kadar minimal 1,5%.



Gambar 6. Perbandingan MgO vs SiO_2

Tabel 2. Tingkat Lateritisasi terhadap Pengayaan Kadar Fe-Ni-Co

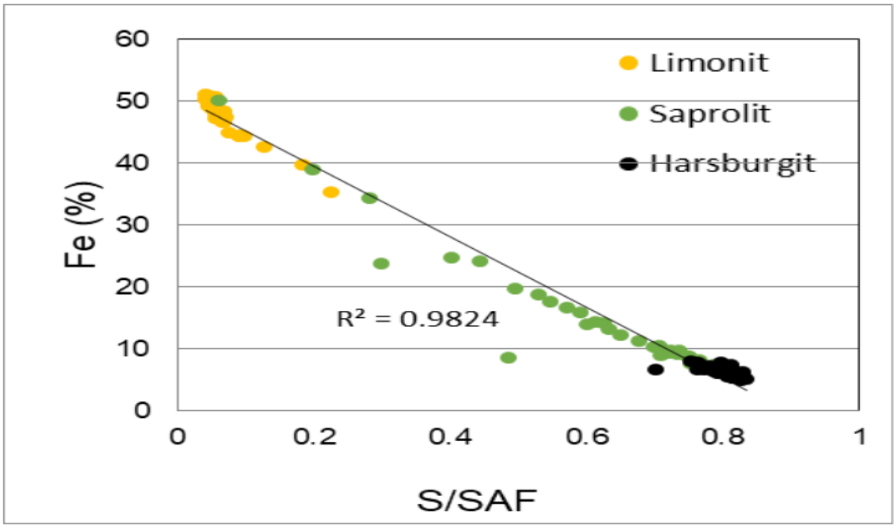
Zona lateritisasi	Fe	Ni	Co
Lateritisasi kuat	36-51 %	0,8-1,4%	0,07-1,17%
Kaolinisasi Sedang	7,3-24%	0,8-1,9%	0,01-0,2%
Lateritisasi Lemah	4,9-7,9%	0,20-1,8%	0,005-0,015%



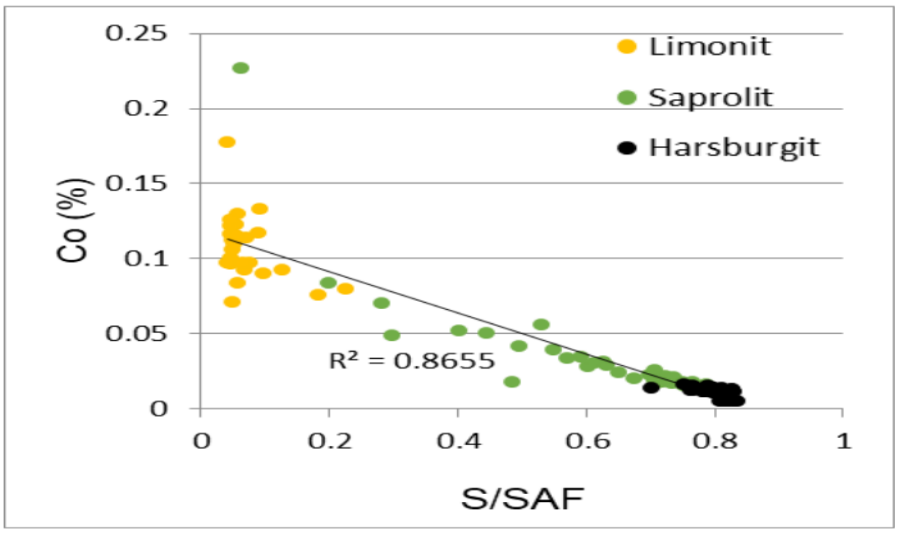
Gambar 7. *Index of Lateritization* (Taylor,1964)

Korelasi antara Indeks S/SAF dengan Pengayaan Unsur Fe-Co-Ni

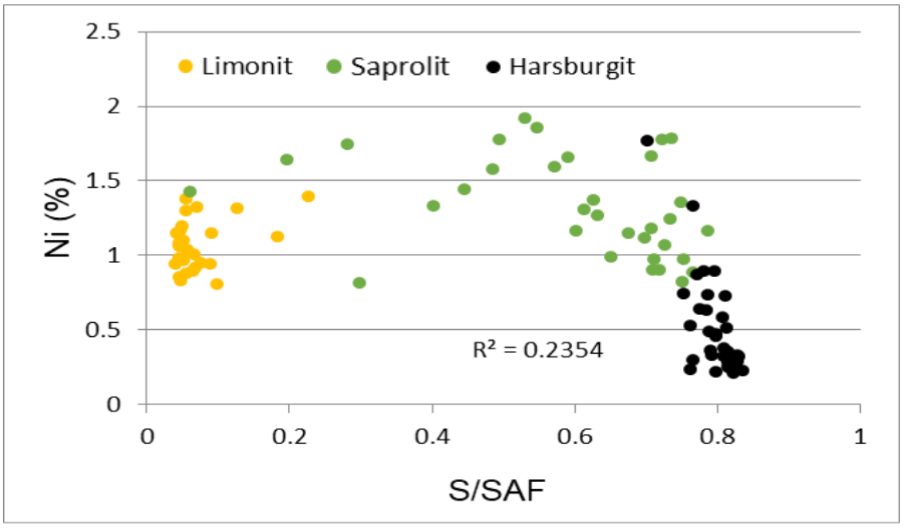
Peningkatan kandungan Fe berkorelasi negatif terhadap indeks S/SAF dan juga terakumulasi di permukaan atas, yaitu zona limonit. Hal ini disebabkan oleh sifat kebal terhadap air dan sifat *immobile* dari Fe **(Gambar 8)** sehingga Fe akan resisten selama proses pelapukan. Kandungan Co berkorelasi negatif terhadap indeks S/SAF dan juga terakumulasi di permukaan atas. Hal ini karena Co merupakan unsur kritis golongan VIII B yang berdekatan dengan unsur Fe, memiliki massa atom yang sama sehingga sifat yang dihasilkan sama, yaitu resisten terhadap pelapukan **(Gambar 9)**. Pada **Gambar 10** menjelaskan bahwa semakin banyak Ni yang terlarut dan terakumulasi dalam zona saprolit (Ogura, 1977). Hal ini disebabkan oleh adanya mineral olivin minor sebagai sumber pembentukan Ni dan sifat *semi-soluble* Ni. Zona limonit mengandung 0,8-1,3 % Ni yang berkorelasi dengan lateritisasi kuat, zona saprolit mengandung 0,8–1,85 % Ni dalam zona kaolinisasi sampai lateritisasi sedang dan batuan dasar mengandung 0,2 -1,3 % Ni.



Gambar 8. Korelasi antara Fe vs S/SAF



Gambar 9. Korelasi antara Co vs S/SAF



Gambar 10. Korelasi antara Ni vs S/SAF

KESIMPULAN

Endapan laterit yang mengandung unsur ekonomis Fe-Ni-Co di daerah penelitian terbentuk dari hasil pelapukan batuan asal harsburgit. Perbedaan utama produk pelapukan dikendalikan oleh derajat lateritisasi. Pengayaan antara Fe, Co dengan derajat lateritisasi selalu berkorelasi negatif. Tetapi derajat lateritisasi tidak dapat berkorelasi dengan pengayaan Ni, karena mobilitas unsur tersebut. Pada umumnya di zona limonit Ni akan tercuci oleh air meteorik. Semuanya disebabkan oleh perilaku unsur utama Fe, Ni, Co, topografi dan iklim juga penting untuk proses laterit yang rumit. Ada penurunan besar MgO dan peningkatan SiO_2 dan Fe_2O_3 dari batuan induk melalui lateritisasi yang terdekomposisi menjadi laterit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Sebuku Iron Lateritic Ores telah mengizinkan kami untuk menggunakan data, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung sebagai tempat melakukan analisis.

DAFTAR PUSTAKA

Aquino, K., Arcilla, C., Schardt, C., & Tupaz, C. (2022). Linking Serpentinization and Weathering of Peridotite: A Study on the Mineralogical and Geochemical Evolution of the Sta. Cruz Nickel Laterite Deposit, Zambales, Philippines. *Minerals 2022*.

Butt, C. R., & Cluzel, D. (2013). Nickel Laterite Ore Deposits: Weathered Serpentinites. *Elements Vol. 9*, 123-128.

Marsh, E., Anderson, E., & Gray, F. (2013). Nickel-Cobalt Laterites—A Deposit Model. *Chapter H of Mineral Deposit Models for Resource Assessment: Scientific Investigations Report 2010-5070-H*.

Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral dan Batubara Indonesia Tahun 2022. (2022). Bandung: Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi, Badan Geologi.

Ogura, Y. (1977). Mineralogical Studies on the Occurrence of Nickeliferous Laterite Deposits in the Southwestern Pacific Area. *Mining Geology*.

Robb, L. (2020). *Introduction to Ore-forming Processes.* Oxford: John WIley & Sons.

Rollinson, H. R. (2014). *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation.* Routledge.

Rustandi, E., Nila, E., Sanyoto, P., & Margono, U. (1995). *Peta Geologi Lembar Kotabaru, Kalimantan Selatan Skala 1:250.000.* Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Strekeisen, A. (1973). Plutonic Rocks: Classification and Nomenclature Recommended by the I.U.G.S. Sub-Commission on the Systematic of Igneous. *Rocks, Geo, Times, 18*, 26-30.

Taylor, R. M., Mckenzie, R. M., & Norrish, K. (1964). The mineralogy and chemistry of manganese in some Australian soils. *Aust. Jour. Soil. Res. 2*, 235-248.

Diterima : 22 Juni 2023
Direvisi : 5 September 2023
Disetujui : 30 November 2023

KARAKTERISTIK ENDAPAN BIJIH BESI LATERIT PADA BLOK BARAT DAN BLOK TIMUR PT SILO, KABUPATEN KOTABARU, KALIMANTAN SELATAN BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA DAN MINERALOGI

CHARACTERISTICS OF LATERITE IRON ORE DEPOSIT IN WEST BLOCK AND EAST BLOCK OF PT SILO, KOTABARU DISTRICT, SOUTH KALIMANTAN BASED ON GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL ANALYSIS

Ayumi Hana Putri Ramadhani[1], Andi Cahyadi[2], Tatik Handayani[3], Suwahyadi[3]
[1]Program Studi Teknologi Geologi, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung
[2]PT Sebuku Iron Lateritic Ores
[3]Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
ayumihana45@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik endapan laterit pada Blok Barat dan Blok Timur Pulau Sebuku, Kabupaten Kotabaru, Kalimantan Selatan dengan menggunakan metode observasi lapangan, dan analisis laboratorium meliputi analisis titrasi, XRF, XRD dan petrografi. Karakteristik endapan laterit Blok Barat memiliki kedalaman 10 meter s.d 15 meter. Zona *red limonit* memiliki kandungan Fe 51,25% dengan komposisi mineral hematit, magnetit, goethite, ilmenit, spinel. Zona *yellow limonit* memiliki kandungan Fe 50,1% dengan komposisi mineral goethite, hematit, gibsit, ilmenit. Zona saprolit memiliki kandungan Fe 16,2% komposisi mineral hematit, krisotil, goethite, garnet, diopside. Karakteristik endapan laterit Blok Timur yaitu memiliki kedalaman 6 meter s.d 7,5 meter. Zona *red limonit* memiliki kandungan Fe 47,38% dengan komposisi mineral hematit, goethite, ilmenit, spinel. Zona *yellow limonit* memiliki kandungan Fe 38,70% dengan komposisi mineral goethite, hematit, chromite, gibsit, spinel. Zona saprolit memiliki kandungan Fe 15,08% komposisi mineral hematit, goethite, diopside, fayalite. Batuan dasar *(Bedrock)* daerah penelitian berupa periodotit yaitu dunit dan harzburgit yang telah terserpentinisasi. Komposisi mineral batuan dasar yaitu olivin, piroksen, mineral opak serta beberapa mineral sekunder yaitu serpentin dan talk. Batuan dasar Blok Barat memiliki kandungan Fe sekitar 7,73% s.d 8,03% sedangkan batuan dasar Blok Timur memiliki kandungan Fe sekitar 6,59% s.d 7,49%.

Kata kunci: endapan laterit, bijih besi, geokimia, mineralogi

ABSTRACT

This research was conducted to identify the characteristics of laterite deposits in the western and eastern blocks of Sebuku Island, Kotabaru Regency, South Kalimantan using field observation methods, and laboratory analysis including titration, XRF, XRD and petrography analysis. The characteristics of the western block laterite deposits are 10 meters until 15 meters deep. The red limonite zone has Fe content of 51.25% with a mineral composition of hematite, magnetite, goethite, ilmenite, spinel. The yellow limonite zone has Fe content of 50.1% with a mineral composition of goethite, hematite, gibsite, ilmenite. The saprolite zone has Fe content of 16.2%, the mineral composition is hematite, chrysotile, goethite, garnet, diopside. The characteristics of the eastern block laterite deposits are that they have a depth of 6 meters until 7.5 meters. The red limonite zone has Fe content of 47.38% with a mineral composition of hematite, goethite, ilmenite, spinel. The yellow limonite zone has Fe content of 38.70% with a mineral composition of goethite, hematite, chromite, gibbsite, spinel. The saprolite zone has Fe content of 15.08%, the mineral composition is hematite, goethite, diopside, fayalite. The bedrock of the research area is in the form of periodotite, namely dunite and harzburgite which have been serpentinized. The mineral composition of the bedrock is

olivine, pyroxene, opaque minerals and several secondary minerals, namely serpentine and talc. The west block bedrock has Fe content of around 7.73 % until 8.03% while the east block bedrock has Fe content of around 6.59 % until 7.49%.

***Keywords**: laterite deposits, iron core, geochemistry, mineralogy*

PENDAHULUAN

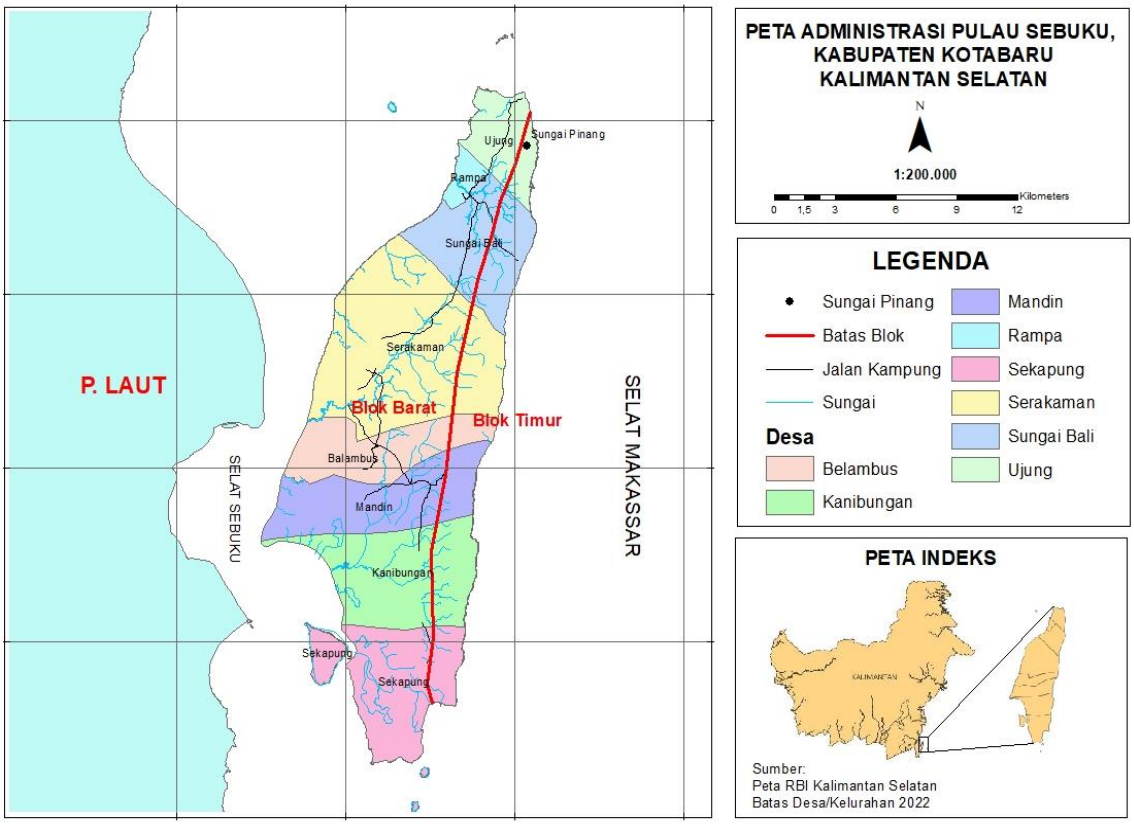
Secara administratif daerah penelitian berada di Blok Barat daerah Belambus dan Blok Timur daerah Sungai Pinang, Kecamatan Pulau Sebuku, Kabupaten Kotabaru, Kalimantan Selatan (Gambar 1).

Secara geografis lokasi penelitian di bagian utara berbatasan dengan Selat Makassar, bagian barat berbatasan dengan Pulau Laut, bagian selatan berbatasan dengan Laut Jawa, dan bagian timur berbatasan dengan Selat Makassar.

Daerah penelitian berada di wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Sebuku Iron Lateritic Ores. Pulau Sebuku memiliki singkapan batuan ultramafik yang sangat luas dan berpotensi menghasilkan bijih besi laterit.

Berdasarkan kondisi geologi Pulau Sebuku, tatanan batuan ultramafik dibagi menjadi dua blok, yaitu Blok Barat disusun layer mafik-ultramafik dan Blok Timur disusun oleh mantel bagian atas (Dunit, Lherzolit, Harzburgit) yang dibatasi oleh layer kromit (Cahyadi, 2017).

Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi karakteristik endapan laterit pada Blok Barat dan Blok Timur berdasarkan analisis geokimia dan mineralogi. Selanjutnya hasil karakteristik endapan laterit tersebut akan menjadi pedoman dalam proses produksi atau penambangan dan juga proses pengolahan material selanjutnya.



Gambar 1. Peta Administrasi Pulau Sebuku

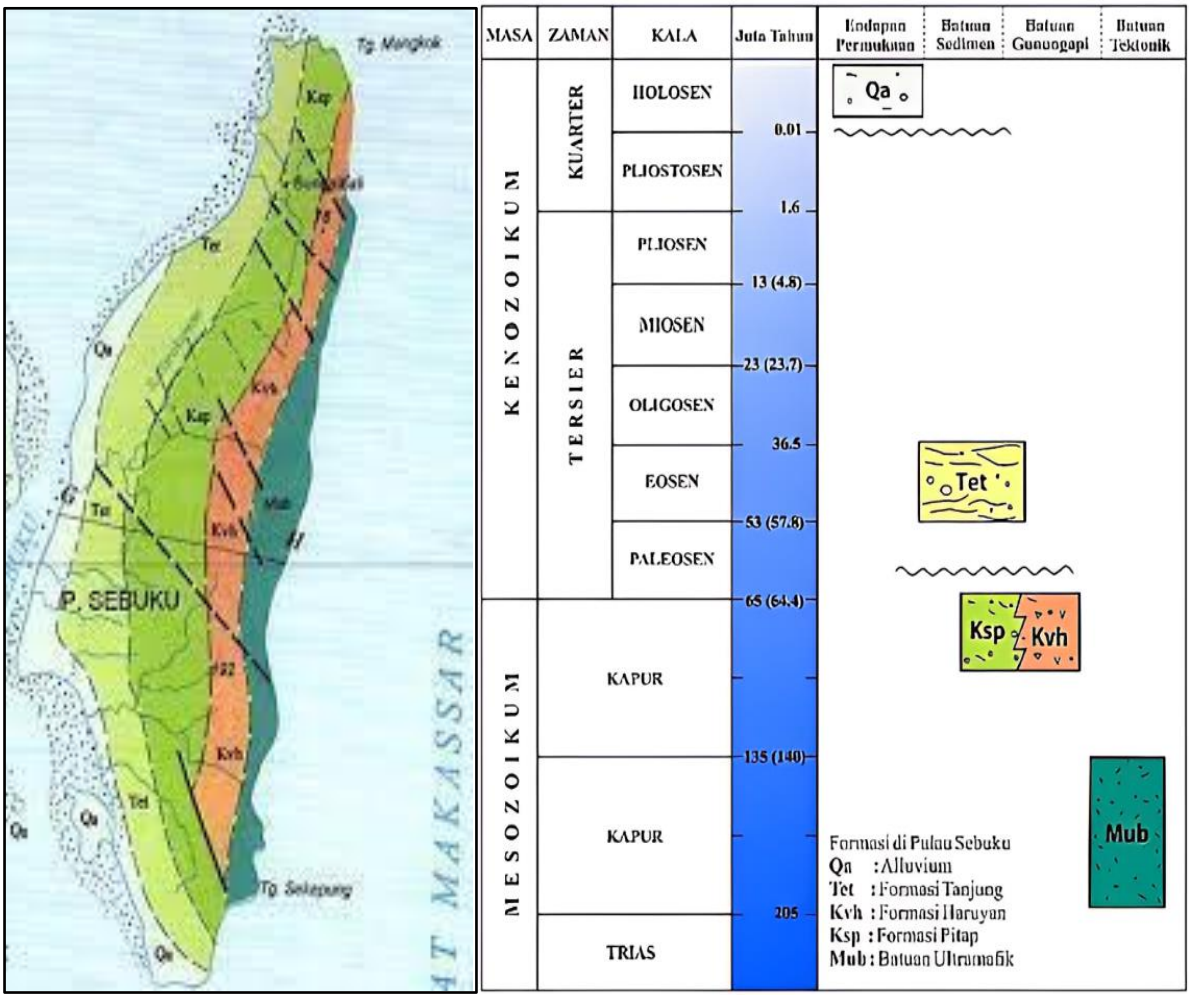
Geologi Regional

Secara geologi, Pulau Sebuku masuk dalam Peta Geologi Regional Lembar Kotabaru skala 1:250.000 yang secara fisiologis termasuk ke dalam Anak Cekungan Asam-asam dan Anak Cekungan Pasir (Rustandi dkk., 1986). Kedua anak cekungan tersebut pada bagian barat dibatasi oleh Pegunungan Meratus, bagian timur dibatasi oleh Mikrokontinen Paternosfer, bagian selatan dibatasi oleh Laut Jawa, serta bagian utara dibatasi oleh Sesar Adang. Pulau Sebuku, terdapat lima formasi dari tua ke muda meliputi: Batuan Ultramafik (Mub), Formasi Pitap (Ksp), Formasi Haruyan (Kvh), Formasi Tanjung (Tet), dan Alluvium (Qa) (Gambar 2).

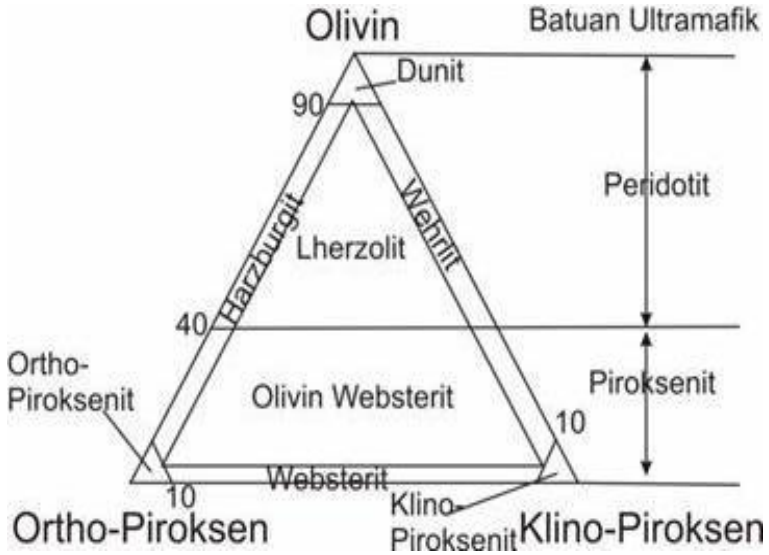
Batuan Ultramafik

Batuan ultramafik hadir dalam bumi sebagai komponen utama penyusun mantel atas di bawah kerak benua atau kerak samudera (Kadarusman, 2009). Secara sederhana batuan beku ultramafik adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO_2 dari komposisinya. Kandungan mineralnya didominasi oleh mineral-mineral berat seperti Fe (besi) dan Mg (magnesium).

Berdasarkan persentase keberadaan mineral olivin, orthopiroksen, dan klinopiroksen, Streckeisen (1976) membuat klasifikasi penamaan batuan ultramafik mulai dari batuan yang memiliki komposisi olivin lebih dari 50% yaitu dunit, harzburgit, lherzolit, dan wherlit (Gambar 3).



Gambar 2. Peta geologi regional Lembar Kotabaru (Rustandi dkk. 1995)



Gambar 3. Model klasifikasi batuan ultramafik (Streckeisen, 1976)

Sistem Endapan Laterit

Laterit menurut (Evans, 1993) terbentuk dari produk sisa pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, di mana berbagai mineral primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air, kemudian larut atau pecah dan membentuk mineral baru yang lebih stabil. Pada laterit terdapat mineral-mineral bijih yang bernilai ekonomis termasuk bijih besi.

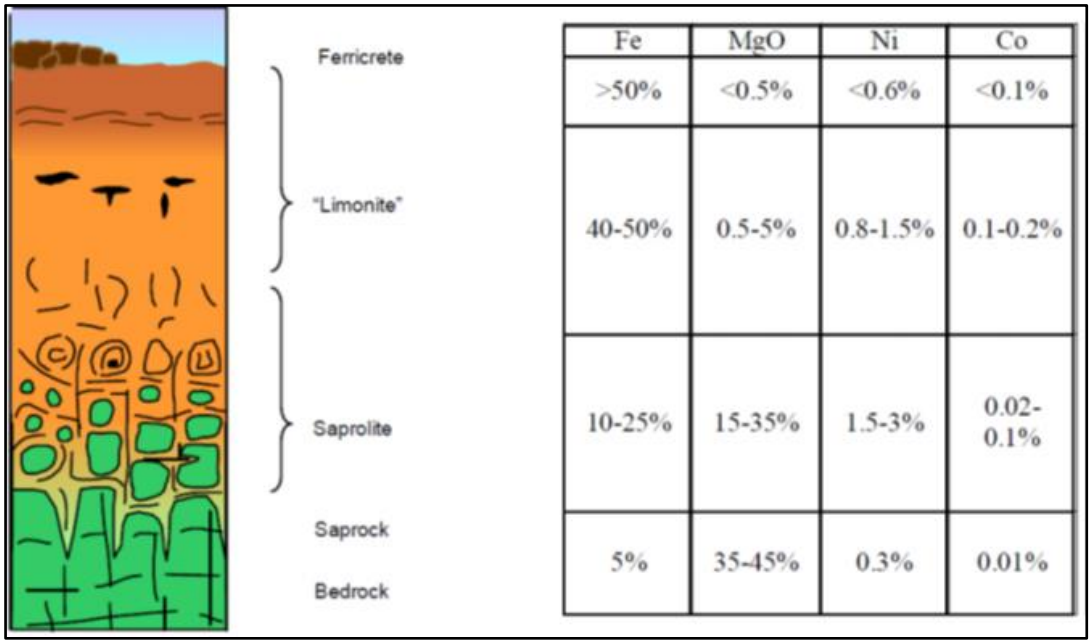
Proses untuk menghasilkan endapan laterit (lateritisasi) merupakan pelapukan kimia yang terjadi pada iklim yang lembab dalam jangka waktu lama dan dengan kondisi tektonik yang relatif stabil untuk membentuk profil yang cukup tebal dengan karakteristik tertentu (Elias, 2005). Secara umum profil zona laterit dibagi menjadi tiga, yaitu zona limonit, saprolit, dan *bedrock* (Gambar 4).

Bagian-bagian dari profil laterit umumnya dapat ditemukan seluruhnya atau salah satu bagian dari profil laterit tersebut tidak ditemukan. Beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi dalam proses lateritisasi yaitu komposisi batuan dasar, geomorfologi dan topografi, iklim, muka air tanah dan unsur organik, struktur geologi, kecepatan pelapukan dan serpentinisasi pada batuan (Gleeson, 2003).

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari observasi lapangan dan analisis laboratorium. Observasi lapangan dilaksanakan dengan kegiatan pengeboran *full coring* untuk mendapatkan data pengeboran yang selanjutnya dilakukan deskripsi megaskopis sampel pengeboran. Sampel pengeboran yang digunakan sejumlah enam titik bor yaitu tiga titik bor Blok Barat dan tiga titik bor Blok Timur yang dianggap mewakili. Selanjutnya dilakukan analisis laboratorium meliputi analisis titrasi, analisis XRF, analisis XRD dan analisis petrografi.

Analisis titrasi dilakukan pada sampel *iron gravel* Blok Barat. Analisis XRF dilakukan pada sampel dari tiga titik bor Blok Barat dan Blok Timur untuk mengetahui kadar geokimia 14 unsur, analisis XRD dilakukan pada 8 sampel dari 1 titik bor Blok Barat dan Blok Timur untuk mengetahui kandungan mineral, dan 6 batuan dasar hasil pengeboran untuk analisis petrografi.



Fe	MgO	Ni	Co
>50%	<0.5%	<0.6%	<0.1%
40-50%	0.5-5%	0.8-1.5%	0.1-0.2%
10-25%	15-35%	1.5-3%	0.02-0.1%
5%	35-45%	0.3%	0.01%

Gambar 4. Ilustrasi profil zona laterit pada batuan ultramafik (Elias, 2005)

HASIL DAN DISKUSI

Profil Endapan Laterit Blok Barat dan Blok Timur

Secara umum, profil endapan laterit pada daerah penelitian dibagi menjadi tiga zona, yaitu zona limonit, zona saprolit, dan zona batuan dasar (Gambar 5). Zona limonit dibagi menjadi dua *layer* yaitu *red limonite* dan *yellow limonite*. Zona saprolit dibagi menjadi empat *layer*, yaitu *earthy saprolite, saprolite, rocky saprolite,* dan *hard saprolite.* Ketiga zona profil endapan laterit tersebut dapat dibedakan berdasarkan karakteristiknya secara rinci melalui hasil *detailed logging.*

Zona Limonit

Karakteristik *red limonite* bewarna merah kecoklatan sampai merah kehitaman, tingkat pelapukan sangat tinggi, tingkat kemagnetan tinggi, ukuran butir *very fine grain* (<0.1 mm), kekerasan sangat lunak.

Karakteristik *yellow limonite* bewarna kuning kemerahan sampai kuning kecoklatan, tingkat pelapukan tinggi, tingkat kemagnetan cukup tinggi, ukuran butir *fine grain* sampai *very fine grain* (0.1 mm s.d 1 mm), kekerasan lunak.

Zona Saprolite

Karakteristik *earthy saprolite* berwarna kuning kecoklatan sampai kuning kehijauan, tingkat pelapukan sedang, tingkat kemagnetan sedang, ukuran butir *fine grain* (0.1mm s.d 1 mm), kekerasan lunak.

Karakteristik *saprolite* berwarna hijau kekuningan atau kuning kehijauan, tingkat pelapukan sedang, tingkat kemagnetan lemah sampai sedang, ukuran butir *medium grain* (1mm s.d 5 mm), kekerasan sedang.

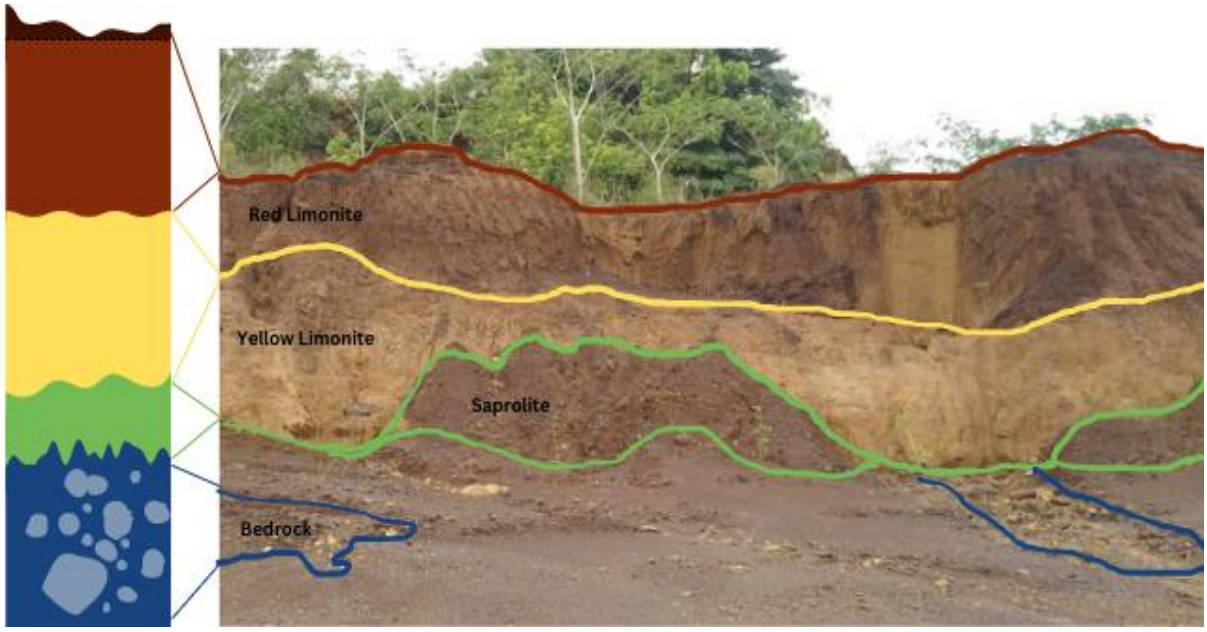
Karakteristik *rocky saprolite* berwarna hijau keabu-abuan, 10% s.d 50% terdiri dari *boulders* batuan asal. tingkat pelapukan rendah sampai sedang, tingkat kemagnetan lemah, ukuran butir *medium – coarse grain* (1mm s.d 10 mm), kekerasan yaitu sedang sampai keras,

Karakteristik *hard saprolite* berwarna hijau keabu-abuan sampai hijau gelap, 50% s.d 90% *bedrock*. tingkat pelapukan lemah, tingkat kemagnetan lemah, ukuran butir *medium grain - coarse grain* (1mm s.d 30 mm), kekerasan sedang sampai keras,

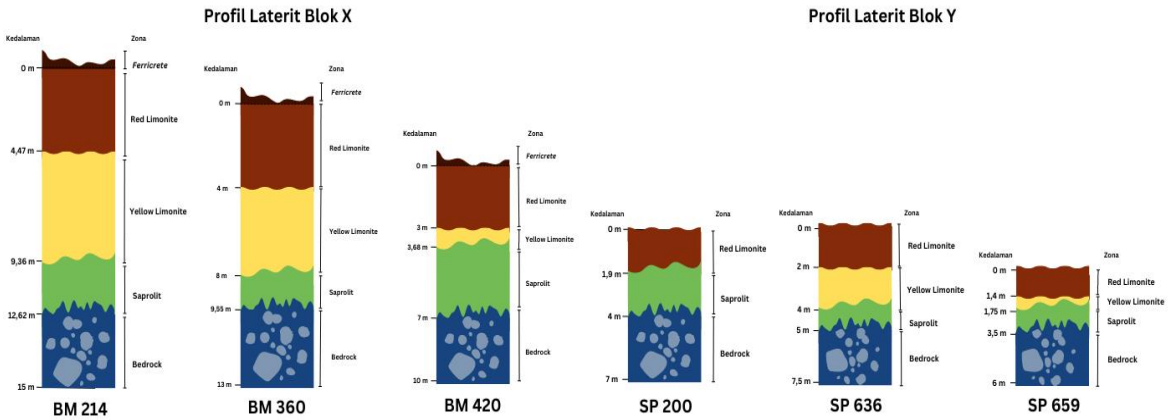
Zona *Bedrock*

Zona *bedrock* atau zona batuan dasar merupakan batuan ultramafik seperti dunit, harzburgit yang sudah terserpentinisasi. Biasanya bewarna hijau keabu-abuan sampai hijau gelap. Tingkat pelapukan lemah, tingkat kemagnetan lemah, struktur *fractured* atau *massif* ukuran butir *very coarse grain* (>30 mm), kekerasan sedang sampai keras.

Keterdapatan zona *red limonite,* yellow limonite dan keterdapatan zona saprolit dengan ketebalan yang cukup tipis dapat diinterpretasikan bahwa tipe laterit secara umum yang berada di lokasi penelitian merupakan jenis laterit oksida. Berdasarkan hasil *detailed logging* dari sampel pengeboran didapatkan ilustrasi profil endapan laterit masing – masing titik pada Blok Barat dan Blok Timur (Gambar 6). Karakteristik profil endapan laterit pada Blok Barat dan Blok Timur ini memiliki perbedaan secara umum seperti kedalaman laterit Blok Barat (12,6 meter) lebih tinggi daripada Blok Timur (6,83 meter). Keterdapatan *iron gravel* di atas zona profil laterit pada Blok Barat, struktur batuan pada Blok Barat lebih *intens* dengan tingkat serpentinisasi medium-tinggi sedangkan Blok Timur struktur batuan massif dan tingkat serpentinisasi rendah-medium.



Gambar 5. Profil Endapan Laterit Daerah Penelitian



Gambar 6. Profil Laterit Blok Barat dan Blok Timur

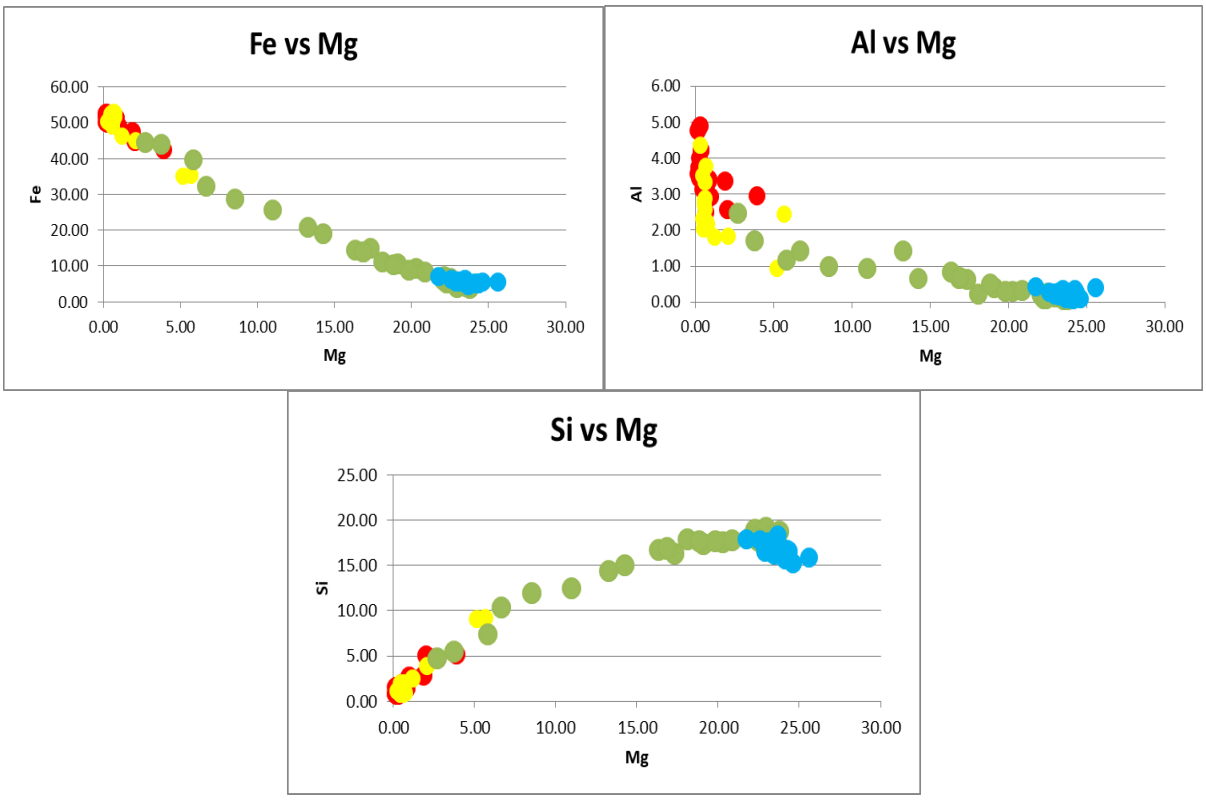
Karakteristik Geokimia

Geokimia endapan laterit dapat digunakan sebagai petunjuk batas zona laterit. Setiap unsur memiliki perilaku yang berbeda di setiap profil laterit dan beberapa unsur akan terkayakan di profil tertentu. Gambar 7 memperlihatkan diagram *scatter plot* korelasi unsur pada tiap zona profil endapan laterit. Warna merah merupakan zona *red limonite*, warna kuning merupakan zona *yellow limonite*, warna hijau merupakan zona saprolite, warna biru merupakan zona *bedrock.*

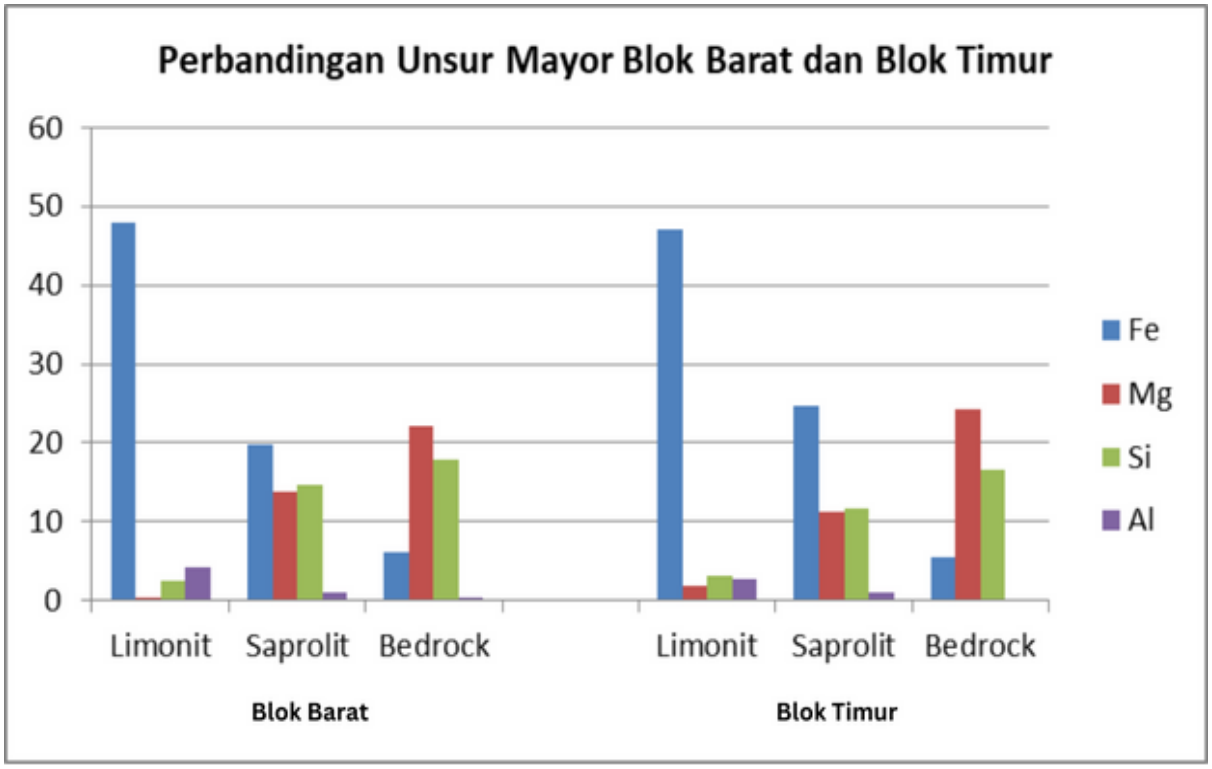
Berdasarkan diagram *scatter plot* menunjukan bahwa unsur Mg memiliki korelasi negatif dengan unsur Fe dan Al pada endapan laterit, yang ditunjukkan oleh kecenderungan trend menurun dari zona limonit, menuju saprolit, hingga batuan dasar. Sedangkan unsur Mg memiliki korelasi positif dengan unsur Si namun berubah menuju korelasi negatif pada batuan dasar.

Hal ini disebabkan oleh sifat mobilitas unsur pada setiap profil endapan laterit. Zona yang paling kaya kandungan Fe yaitu zona limonit merah. Kelimpahan Fe pada zona limonit menurun secara gradual dari zona limonit ke batuan dasar. Hal ini berkaitan dengan sifat mobilitas unsur, unsur Fe dan Al dengan mobilitas unsur yang *immobile* ini menyebabkan mineral-mineral tersebut memiliki resistensi yang lebih tinggi terhadap pelapukan, sehingga kehadirannya terkonsentrasi pada bagian atas endapan laterit. Berbanding terbalik dengan unsur Mg dan Si yang kelimpahannya semakin menurun pada zona limonit, karena bersifat *high mobility-soluble,* unsur tersebut akan tercuci *(leaching)* pada saat tahap awal pelapukan dan larut bersama air tanah dan dapat terendapkan kembali pada rekahan batuan dasar.

Untuk dapat membaca lebih jelas perbandingan kadar unsur mayor dari kedua blok tersebut dibuat histogram yang ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Diagram *Scatter Plot* unsur Fe, Al, Si terhadap Mg



Gambar 8. Histogram Perbandingan Unsur Mayor Blok Barat dan Blok Timur

Dari histogram tersebut dapat diketahui bahwa kandungan unsur Fe (5,06% s.d 51,1%) pada Blok Barat lebih tinggi dibandingkan Blok Timur (5,18% s.d 47,03%). Kandungan unsur Si pada Blok Timur (3,78% s.d 17,64%) lebih tinggi dibandingkan Blok Barat (0,84% s.d 17,26%). Kandungan unsur Mg pada Blok Timur (1,50% s.d 24,73%) lebih tinggi dibandingkan Blok Barat (0,39% s.d 24,07%). Kandungan unsur Al pada Blok Barat (0,09% s.d 3,65%) relatif lebih tinggi daripada Blok Timur (0,12% s.d 2,93%).

Komposisi Mineralogi Endapan Laterit Blok Barat dan Blok Timur

Komposisi mineralogi pada endapan laterit Blok Barat dan Blok Timur teridentifikasi mengandung 15 mineral yang berbeda-beda di setiap zona (Tabel 1).

Dari hasil XRD, perbedaan komposisi mineralogi endapan laterit antara Blok Barat dan Blok Timur yaitu mineral pada zona *red limonite* Blok Barat mempunyai kandungan mineral besi (hematit, goethit, magnetit, ilmenit) lebih banyak dibandingkan di Blok Timur.

Pada zona *red limonite* Blok Barat ditemukan mineral magnetit (Fe_3O_4), pada zona *yellow limonite* Blok Timur ditemukan zinchromite dan spinel. Zona saprolit Blok Barat ditemukan mineral serpentin (krisotil) dan garnet sedangkan di Blok Timur ditemukan olivine (fayalite). Pada batuan dasar Blok Barat mengandung mineral serpentin yang cukup tinggi dibandingkan Blok Timur.

Dari komposisi mineralogi Blok Barat dan Blok Timur, dapat disimpulkan bahwa kandungan mineral besi pada Blok Barat lebih melimpah dibandingkan Blok Timur serta proses serpentinisasi Blok Barat lebih intens dibandingkan Blok Timur.

Tabel 1. Hasil XRD Blok Barat dan Blok Timur

Blok	Zona			
	Red Limonite	***Yellow Limonte***	**Saprolit**	***Bedrock***
Blok Barat	Hematite (34%) Magnetite (29%) Goethite (20%) Ilmenit (10%) Spinel (7%)	Goethite (53%) Hematit (24%), Gibsit (15%) Ilmenit (8%)	Hematit (54%), Krisotil (14%), Goethite (13%) Garnet (11%), Diopside (8%).	Krisotil (47,5%) Lizardit (38,4%), Talk (12,1%), Klinopiroksen (2%).
Blok Timur	Hematit (42%), Goethitet (36%), Ilmenit (15%), Spinel (8%).	Goethite (39,4%), Hematit (18,2%) Chromite (17,2%), Gibsit (16,2%), Spinel (9,1%).	Goethite (29,7%) Hematit (27,7%), Diopside (26,7%) Fayalite (15,8%).	Krisotil (44%), Fayalite (37%), Kaolin (10%), Klinopiroksen (9%).

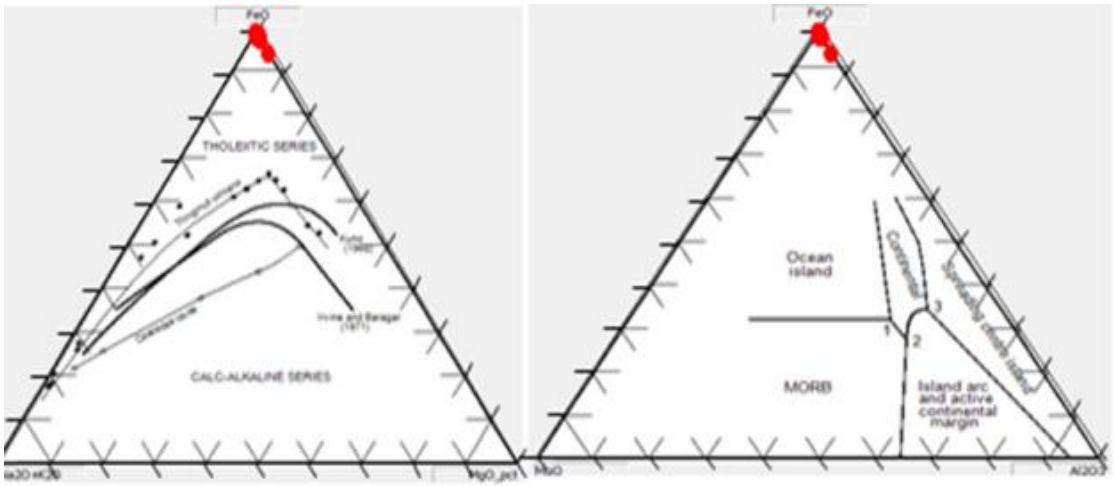
Perbedaan Karakteristik Endapan Laterit Blok Barat dan Blok Timur

Penyebab perbedaan karakteristik dari Blok Barat dan Blok Timur dapat diidentifikasi menggunakan analisis titrasi sampel *iron gravel* yang keterdapatannya hanya ada pada Blok Barat. Kadar FeO hasil analisis titrasi tersebut selanjutnya dilakukan triplot dengan kadar lain hasil analisis XRF untuk mengetahui karakteristiknya dan dilakukan triplot afinitas magma dan lingkungan tektonik untuk mengetahui seri magma dari sumber pembentukan dan asal lingkungan tektoniknya (Gambar 9).

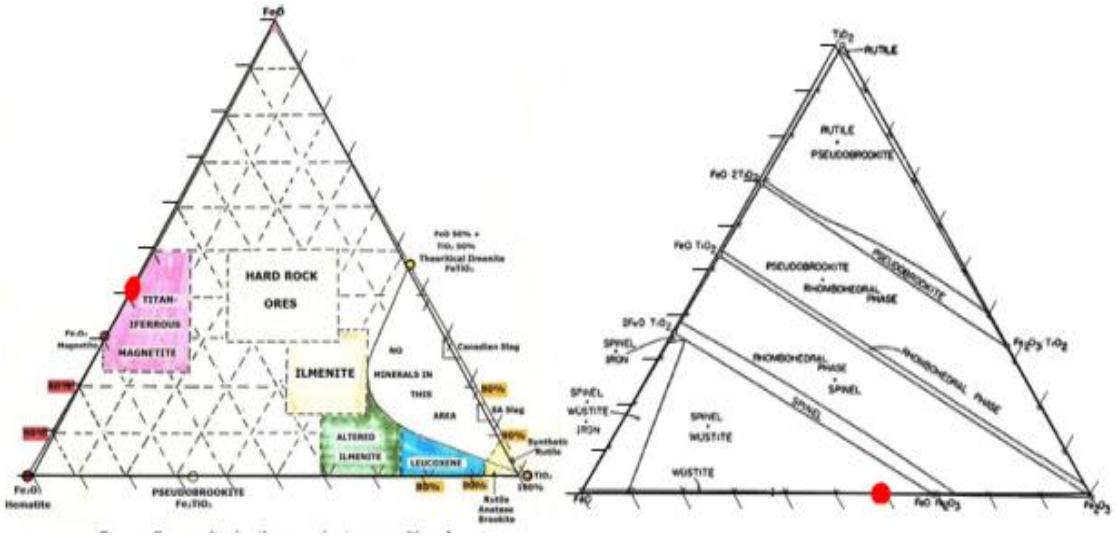
Berdasarkan hasil triplot afinitas magma tersebut menunjukkan bahwa Blok Barat memiliki pengaruh dari magma basalt toelitik high Fe. Toleit merupakan seri sub alkali yang umumnya berasal dari punggungan samudra atau *continental* yang dapat muncul pada semua tatanan tektonik dan berdasarkan hasil triplot lingkungan tektoniknya yaitu terbentuk di *oceanic island.* Jika dikaitkan asosiasi afinitas magma dengan tatanan tektonik, maka tatanan tektoniknya mengerucut menjadi *Intra Oceanic.* (Wilson, 2007).

Berdasarkan hasil triplot FeO, Fe_2O_3 dan TiO_2 (Gambar 10) diindikasikan bahwa besi telah mengalami migrasi karena pengaruh *pressure* dan temperatur di zona reduksi/thoelitik series.

Plotting juga menunjukkan bahwa besi ferro (2^+)/wustite+spinel ke arah ferric (3^+)/magnetite-hematite, menunjukkan bahwa Blok Barat mengalami pengkayaan detrial bijih besi primer ditunjukkan dengan ditemukannya besi *ferric* (3^+) seperti mineral magnetit dan terbentuknya *iron cap* di atas zona. Sedangkan Blok Timur merupakan normal laterit. Ini juga menjadi alasan mengapa kadar unsur Fe di Blok Barat lebih tinggi dibandingkan Blok Timur.



Gambar 9. Triplot afinitas magma dan triplot lingkungan tektonik



Gambar 10. Triplot FeO, Fe_2O_3 dan TiO

Karakteristik Batuan Dasar

Untuk mengetahui karakteristik batuan dasar daerah penelitian digunakan analisis geokimia XRF dan analisis sayatan tipis petrografi. Analisis geokimia *X-Ray Fluoroscence* (XRF) pada batuan dasar menghasilkan data-data geokimia berupa senyawa oksida yang dikonversikan ke dalam unsur total (Tabel 2).

Berdasarkan Diagram Harker (Gambar 11) diketahui bahwa unsur-unsur seperti SiO_2, Al_2O_3, MnO, dan CaO memberikan *trend* negatif terhadap penambahan unsur MgO, dapat diinterpretasikan bahwa olivin adalah fase fraksionasi utama dan mengalami proses serpentinisasi. Serpentin memiliki kelimpahan Mg yang lebih kecil dibandingkan olivin, proses serpentinisasi yang intens akan mengubah olivin menjadi serpentin dan menurunkan kandungan Mg-nya. *Trend* negatif juga terjadi pada diagram FeO vs MgO, hal ini menurut Rollinson (1983) menandakan bahwa batuan yang telah mengalami proses serpentinisasi yang intens akan membawa unsur besi yang lebih besar. Proses serpentinisasi akan menghasilkan magnetit dan memperkaya unsur Fe-nya.

Kelimpahan unsur FeO (total) pada batuan berdasarkan data hasil analisis geokimia yaitu berkisar antara 6% s.d 8%.

Tabel 2. Hasil XRF Batuan Dasar

Unsur (%)	Kode Sampel					
	BM 346	**BM 397**	**BM 423**	**SP 446**	**SP 656**	**SP 659**
FeO	8.03	7.59	7.73	6.98	6.59	7.49
Al_2O_3	1.35	0.38	0.7	0.68	0.35	0.49
P_2O_5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
SiO_2	39.07	36.07	37.27	37.93	35.34	35.6
MgO	35.66	38.55	37.44	39.22	40.45	39.28
MnO	0.12	0.11	0.12	0.11	0.1	0.14
CaO	0.86	0.3	0.45	0.76	0.17	0.1
Na_2O	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
K_2O	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO_2	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
SO_2	0.38	0.47	0.46	0.36	0.36	0.21
LOI	12.11	14.21	13.43	12.2	14.89	14.06
Total	99.04	98.93	98.91	99.4	99.39	99.16

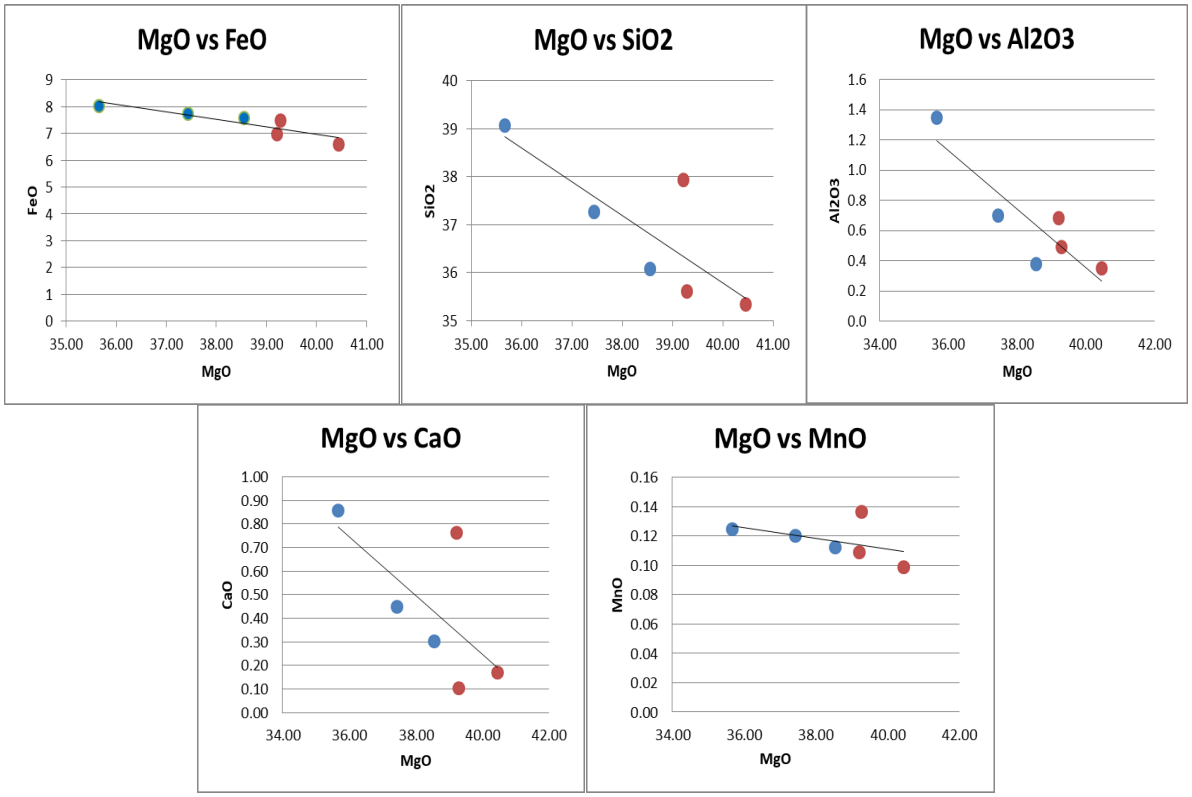
Menurut Yuwono (2004), ciri-ciri batuan dasar yang belum mengalami pelapukan atau alterasi secara intensif ditunjukkan oleh nilai LOI batuan dasar dibawah 7%. Namun berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa batuan dasar memiliki nilai LOI pada rentang 12% s.d 14% yang mencirikan batuan sudah mengalami ubahan kuat, yaitu proses serpentinisasi intensif.

Tingkat serpentinisasi yang intens pada daerah penelitian juga didukung oleh hasil analisis petrografi sayatan tipis batuan dasar. Dimana batuan didominasi oleh mineral serpentin (lizardit, krisotil, dan antigorit). Mineral primer batuan dasar meliputi olivin dan piroksen dengan keadaan orthopiroksen dan klinopiroksen yang tidak dominan. Tekstur umum batuan yaitu holokristalin, anhedral, dan inequigranular.

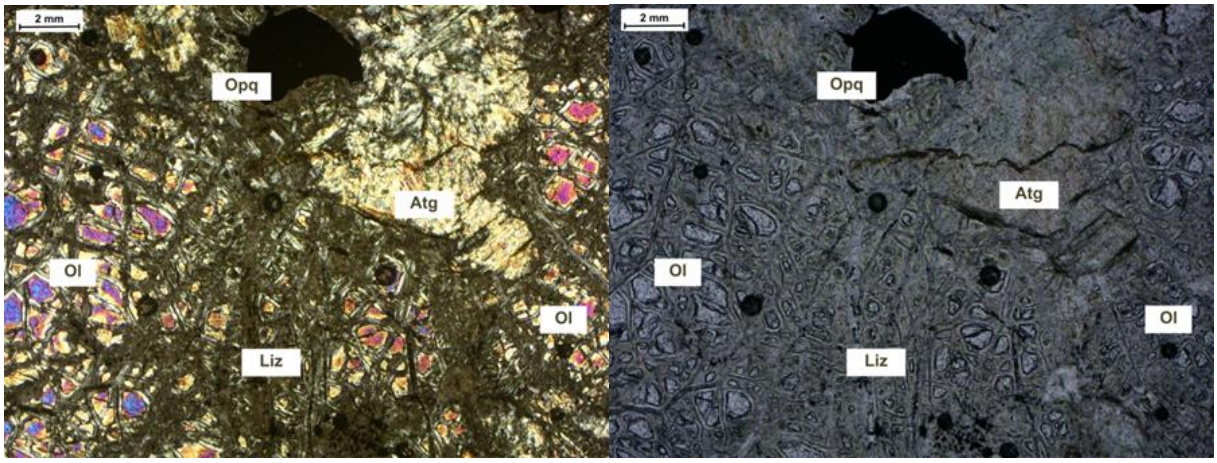
Adapun litologi batuan dasar yang ditemukan pada daerah penelitian berdasarkan analisis petrografi adalah satuan dunit terserpentinisasi dan harzburgit terserpentinisasi (Streckeisen, 1976, modifikasi)

Batuan dasar Blok Barat terdiri dari dua jenis litologi yaitu dunit terserpentinisasi dan harzburgit terserpentinisasi.

Batuan Dunit terserpentinisasi didominasi oleh mineral olivin dan serpentin yaitu sampel BM 346 terserpentinisasi 60% (Gambar 12) dan BM 397 terserpentinisasi 90%. Batuan Harzburgit terserpentinisasi didominasi mineral olivin, serpentin dan piroksen, yaitu sampel BM 423 yang terserpentinisasi 60%.



Gambar 11. Diagram Harker unsur-unsur utama pada batuan asal (satuan dalam wt%)

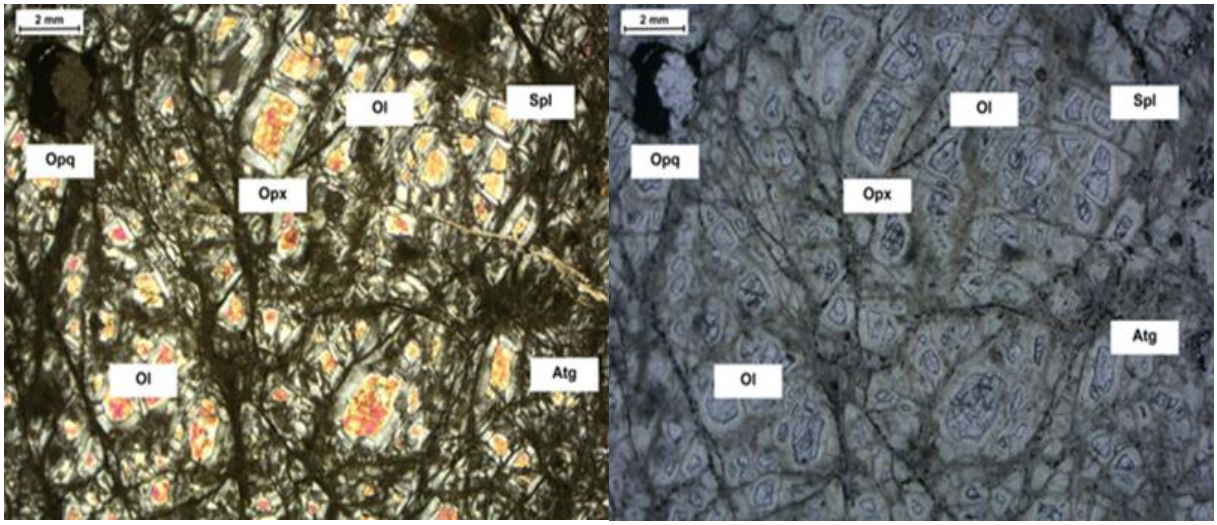


Gambar 12. Kenampakan petrografis dunit terserpentinisasi 60% sampel BM 346

Batuan dasar Blok Timur hanya terdiri dari sejenis litologi yaitu harzburgit terserpentinisasi.

Mineral yang ditemukan meliputi olivin, serpentin (lizardit dan antigorit), piroksen (orthopiroksen dan klinopiroksen), mineral opak, dan spinel. Sampel SP 636 terserpentinisasi 50%, sampel SP 656 terserpentinisasi 30%, dan sampel SP 659 terserpentinisasi 40% (Gambar 13).

Berdasarkan analisis petrografi tersebut dapat disimpulkan bahwa tingkat serpentinisasi batuan dasar pada Blok Barat (60% s.d 90%) lebih tinggi dibandingkan dengan batuan dasar Blok Timur (30% s.d 50%)



Gambar 13. Kenampakan petrografis harzburgit terserpentinisasi 40% sampel SP 659

KESIMPULAN

Tipe laterit secara umum yang berkembang pada daerah penelitian yaitu tipe oksida, hal ini berdasarkan lapisan limonit dan saprolit yang cukup tipis. Profil Blok Barat memiliki kedalaman yang lebih besar (10 meter s.d 15 meter), ditemukannya *iron gravel* pada zona atas profil, struktur batuan intens, dan tingkat serpentinisasi sedang - tinggi. Berbeda dengam Blok Timur yang memiliki kedalaman profil laterit yang cukup tipis (6 meter s.d 7,5 meter), *non-gravel,* struktur batuan massif, dan tingkat serpentinisasi rendah s.d. sedang. Perbedaan profil laterit di setiap titik bor dikarenakan tingkat lateritisasi yang berbeda.

Komposisi endapan laterit Blok Barat dan Blok Timur secara geokimia memiliki kadar unsur yang berbeda. Blok Barat memiliki kandungan Fe dan Al yang lebih tinggi dibandingkan Blok Timur. Sedangkan Blok Timur memiliki kandungan Si dan Mg yang lebih tinggi dibandingkan Blok Barat. Kandungan Fe Blok Barat (5,06% s.d 51,1%) lebih tinggi karena mengalami pengayaan detrial bijih besi primer sedangkan Blok Timur (5,18% s.d 47,03%) adalah normal laterit.

Secara umum komposisi mineral zona *red limonit* didominasi mineral hematit, zona *yellow limonit* didominasi mineral goethit, zona saprolit mulai muncul mineral serpentin, batuan dasar didominasi mineral serpentin. Perbedaan pada Blok Barat ditemukan magnetit pada zona *red limonit* dan Blok Timur ditemukan zinchromite pada zona saprolit.

Batuan dasar penghasil endapan laterit di lokasi penelitian adalah **batuan ultramafik** yaitu dunit dan harzburgit yang telah mengalami serpentinisasi. Tingkat serpentinisasi Blok Barat 60% s.d 90%, Blok Timur 30% s.d 50%. Batuan asal memiliki komposisi $FeO_{(total)}$ yang berkisar antara 6% s.d 8%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Divisi *Geology Development* PT Sebuku Iron Lateritic Ores, yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di area Izin Usaha Pertambangannya. Terimakasih juga penulis sampaikan kepada manajemen Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung yang telah membantu dalam proses penulisan makalah ini. Serta kepada Bapak Ir. Sabtanto Joko Suprapto, M.T., selaku dosen wali penulis, dan bapak Dr. Ir. Priatna, M.T. selaku dosen pembimbing I, bapak Dr. Ir. A Djumarma W. Dipl. Seis selaku dosen pembimbing II yang sudah membimbing dan membantu dalam penulisan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

Cahyadi, A., Krisnanto, Y., Herkusuma, D. S., Budiansyah, A., Kadarusman, A., dan Swamidhrma, Y. C. A. 2017. *Geology Of Sebuku and Mineral Deposit Potentials.* Malang: PIT IAGI 2017 Malang.

Elias, M., 2005, *Nickel Laterite Deposits - Geological Overview, Resources and Exploitation, Centre for Ore Deposit Research*, University of Tasmania

Evans, A. M., 1993, *Ore Geology and Industrial Minerals: An Introduction*, Blackwell Publishing: Oxford.

Gleeson, S. A., Butt, C. R. M., dan Elias, M., 2003, *Nickel Laterites: A Review*, SEG Newslette.

Kadarusman, A., 2009, *Ultramafic Rocks Occurences in Eastern Indonesia and their Geological Setting*, The 38th IAGI Annual Convention and Exhibition.

Rustandi E., Nila E.S., dan Sanyoto P. 1986. *Laporan Geologi Lembar Kotabaru Kalimantan Selatan Skala 1: 250.000*, Pusat Survei Geologi, Bandung..

Rustandi, E., Nila, E. S., Sanyoto, P., dan Margono, V., 1995, *Peta Geologi Lembar Kotabaru, Kalimantan Skala 1 : 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi: Bandung.

Rollinson, H., 1983, *The Geochemistry of Mafic and Ultramafic Rocks from the Archaean Greenstone Belts of Sierra Leone*, Mineralogical Magazine.

Streckeisen, A., 1976, *To Each Plutonic Rock its Proper Name, Earth Science Reviews, International Magazine for Geo-Scientists.* Amsterdam. Vol.12

Sutisna, D. T., 2006, *Tinjauan Umum Potensi dan Pemanfaatan Cebakan Bijih Besi di Indonesia*, Buletin Sumberdaya Geologi, vol. 2.

Yuwono, Y. S., 1987, *Petrology of the Cretaceous Magmatic Rocks from Meratus Range, Southeast Kalimantan,* Journal of Southeast Asian Earth Sciences.

Diterima : 4 September 2023
Direvisi : 15 September 2023
Disetujui : 30 November 2023

REKOMENDASI AREA LOKASI TAPAK SUMUR EKSPLORASI PANAS BUMI MENGGUNAKAN PEMODELAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI DAERAH PROSPEK CISOLOK-CISUKARAME, SUKABUMI, JAWA BARAT

RECCOMENDATION FOR GEOTHERMAL EXPLORATION WELLPAD AREA USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM MODELING IN CISOLOK-CISUKARAME PROSPECT, SUKABUMI, WEST JAVA

Husin Setia Nugraha[1], Dadan Wildan[2], Rina Wahyuningsih[1], dan Reynold Tampubolon[1]
[1]Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
[2]Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung
husin.nugraha@esdm.go.id

ABSTRAK

Pemanfaatan pemodelan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam pengembangan sumber daya panas bumi telah banyak dilakukan mulai dari tahap survei awal, eksplorasi hingga eksploitasi atau produksi. Tujuan pemodelan SIG ini adalah untuk mendelineasi lokasi tertentu yang dianggap memiliki prospek bumi atau cocok untuk fasilitas produksi lapangan panas bumi. Studi ini bertujuan mendapatkan peta area rekomendasi tapak sumur (*wellpad)* untuk lokasi pengeboran sumur eksplorasi panas bumi yang optimal dengan mempertimbangkan parameter teknis dan non teknis. Studi ini dilakukan di area prospek panas bumi Cisolok-Cisukarame di Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Peta tersebut dihasilkan dengan mengintegrasikan delapan parameter yang akan mempengaruhi besarnya biaya pengeboran, yaitu area prospek, kemiringan lahan, kedalaman puncak reservoir, struktur geologi, sumber air, jalan akses, area pemukiman, area manifestasi permukaan, dan area cagar budaya. Pada tahap awal, terhadap parameter-parameter tersebut dilakukan pembuatan area bufer dan klasifikasi dengan rentang nilai tertentu berdasarkan beberapa pertimbangan. Selanjutnya dilakukan integrasi data spasial menggunakan operasi *vector overlaying Boolean*. Hasilnya adalah peta area rekomendasi tapak sumur eksplorasi panas bumi Daerah Cisolok-Cisukarame dengan luas sekitar 6,31 km^2 (19,62 % dari luas area prospek P_{90}). Dengan menggunakan grid jala ukuran 120 meter menghasilkan delapan area kluster besar dan lima area kluster kecil yang cocok sebagai tapak sumur lubang standar. Sedangkan dengan ukuran grid jala 50 meter menghasilkan jumlah kluster yang sama dan lima kluster lain yang lebih kecil. Hasil studi ini dapat dijadikan sebagai rekomendasi area untuk dijadikan lokasi tapak sumur dan perencanaan kegiatan survei lapangan selanjutnya seperti survei geoteknik dan survei infrastruktur.

Kata kunci: pemodelan SIG, sumur eksplorasi panas bumi, tapak sumur *slimhole, vector overlaying Boolean,* Prospek Cisolok-Cisukarame

ABSTRACT

The use of Geographic Information System (GIS) modelling in developing geothermal resources has been widely carried out, from the initial survey and exploration to exploitation or production stages. This GIS modelling aims to delineate specific locations that are considered to have geothermal resources or are suitable for geothermal field production facilities. This study aims to obtain a map of the recommended wellpad area for the optimal geothermal exploration well drilling location by considering technical and non-technical parameters. This research was conducted in the Cisolok-Cisukarame geothermal prospect area in Sukabumi Regency, West Java Province. The map is produced by integrating eight parameters that will affect the amount of drilling costs: prospect area, slope, reservoir crest depth area, geological structure, water source, access road, settlement area, surface manifestation area, and cultural

heritage area. In the early stages, buffer areas and classifications were made for these parameters with a specific range of values based on several considerations. Furthermore, spatial data integration is carried out using vector overlaying boolean operations. The result is a map of the wellpad recommendation area for geothermal exploration wells in the Cisolok-Cisukarame area, with an area of approximately 6.31 km^2 (19.62% of the P_{90} prospect area). Using a 120-meter fishnet produces eight large cluster areas and five small cluster areas, which are suitable for wellpad of standard hole. Meanwhile, the 50-meter fishnet produces the same number of clusters and five other smaller clusters. The results of this study can be used as recommendations for areas to be used as well as footprint locations and planning for further field survey activities such as geotechnical and infrastructure surveys.

***Keywords**: GIS modelling, geothermal exploration well, slimhole wellpad, vector overlaying Boolean,* Cisolok-Cisukarame *Prospect*

PENDAHULUAN

Pemanfaatan pemodelan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam pengembangan sumber daya panas bumi telah banyak dilakukan mulai dari tahap survei awal, eksplorasi hingga tahap eksploitasi dan produksi. Tujuan pemodelan SIG ini adalah untuk mendelineasi lokasi tertentu yang dianggap memiliki sumber daya panas bumi atau lokasi yang tepat untuk penempatan fasilitas produksi lapangan panas bumi. Studi-studi tentang pemodelan SIG ini paling banyak dilakukan pada tahap eksplorasi awal untuk mengidentifikasi perkiraan area prospek.

Pemodelan SIG untuk tujuan eksplorasi panas bumi dapat dilakukan dalam berbagai skala area studi mulai dari skala benua sampai skala sub-regional (Jara-Alvear *et al.*, 2023). Manzella *et al.* (2019) melakukan pemodelan SIG untuk eksplorasi panas bumi dalam skala benua. Untuk skala nasional telah dilakukan oleh Yousefi dan Ehara (2008); dan Zaher *et al.* (2018). Sementara, Noorollahi *et al.* (2007a); Carranza *et al.* (2008); dan Noorollahi *et al*. (2015) telah mendelineasi area prospek panas bumi pada skala regional. Dezayes *et al.* (2022) secara khusus melakukan pemodelan SIG untuk eksplorasi panas bumi pada skala pulau kecil.

Semua data tersebut diintegrasikan secara spasial untuk pembuatan model tentatif sistem panas bumi secara dua dimensi menggunakan pemodelan SIG. Nugraha *et al*. (2021) menggunakan data peta suhu permukaan tanah atau *land surface temperature* (*LST*), *fault fracture density (FFD*) dan alterasi untuk mendelineasi area prospek panas bumi sebelum survei lapangan dilaksanakan. Abuzied *et al.* (2020) menggunakan delapan parameter *input* seperti jarak ke struktur geologi utama, kerapatan kelurusan geologi, suhu permukaan tanah, kerapatan aktivitas seismik, aliran panas, gradien suhu pada kedalaman tertentu, kedalaman *currie point* dan anomali bouguer lengkap. Yalcin dan Gul (2017) membuat model spasial berbasis SIG dengan menggunakan parameter jarak terhadap sumber air panas, formasi geologi indikator, patahan, kepadatan *drainage* dan anomali suhu permukaan tanah. Sementara Kiavarz dan Jelokhani-Niaraki (2017) menggunakan model SIG dengan parameter lokasi puncak gunung api, litologi batuan vulkanik, indikasi patahan, lokasi fumarol dan air panas serta suhu permukaan tanah.

Pada tahap pra-produksi hingga produksi, pemodelan SIG telah digunakan antara lain untuk melihat pengaruh produksi terhadap manifestasi panas di permukaan, penentuan lokasi pembangkit, dan pemodelan sebaran emisi dari pembangkit. García-Estrada*et al*. (2008) menggunakan model SIG ini untuk melihat pengaruh jarak antara sumur produksi dengan keberadaan manifestasi panas di permukaan. Pemodelan SIG untuk penentuan lokasi pembangkit dilakukan Yousefi dan Ehara (2008) dengan menggunakan parameter yang berbeda. Tiga jenis set data yaitu data

fisik (kemiringan, hidrologi dan patahan), sosio-ekonomi (pusat populasi, penggunaan lahan dan akses jalan), dan teknis (area anomali, lokasi tapak sumur dan mata air panas). Dari model SIG tersebut menghasilkan rekomendasi tujuh lokasi untuk pembangunan pembangkit dengan luas hanya satu persen dari area studinya. Dengan tujuan yang sama, Coro dan Trumpy (2020) menggunakan metode entropi maksimum menggabungkan data sebaran CO_2, kepadatan kejadian gempa bumi, ketinggian, aliran panas global dan suhu udara permukaan. Sedangkan Gouareh *et al.* (2015) dan Yousefi-Sahzabi *et al.* (2011) menggunakan pemodelan SIG ini untuk melihat penyebaran gas tak terkondensasi (*NCG*) khususnya CO_2 dari pembangkit panas bumi. Yousefi-Sahzabi *et al.* (2011) melakukan penelitian dari pembangkit panas bumi berjenis binari sedangkan Yousefi dan Ehara (2008) dari pembangkit konvensional berjenis *flash* dengan kapasitas 55 MW_e.

Sedangkan, studi yang dilakukan untuk penentuan lokasi sumur, seperti yang dilakukan oleh Noorollahi*et al*. (2015), Ghasempour *et al*. (2015) dan Noorollahi *et al.* (2008a) hanya mempertimbangkan parameter-parameter geosain. Sementara parameter-parameter teknis non-geosains digunakan sebagai parameter pembatas oleh Omwenga *et al.* (2019); dan Omwenga (2020). Selain pertimbangan teknis, terdapat regulasi yang juga membatasi parameter-parameter teknis yang digunakan. Selain itu, sampai saat ini belum ada studi yang menggunakan parameter-parameter non-geosain seperti area pemukiman, penggunaan lahan dan akses jalan sebagai pertimbangan seperti yang digunakan Yousefi dan Ehara (2008) dalam menentukan lokasi pembangkit listrik panas bumi. Parameter-parameter di atas digunakan sebagai pembatas (*constraint*) teknis untuk mendapatkan area *favorable* atau area yang direkomendasikan. Pada kenyataannya, parameter pembatas tersebut tidak terbatas pada parameter teknis, namun parameter pembatas ini juga timbul karena adanya regulasi, keadaan sosial, dan adat tertentu pada suatu lokasi. Bahkan parameter pembatas ini dapat menjadi parameter *go or no-go* suatu proyek yang lebih dominan.

Studi ini bertujuan mendapatkan peta area rekomendasi tapak sumur (*wellpad)* untuk lokasi pengeboran sumur eksplorasi panas bumi yang optimal dengan mempertimbangkan parameter teknis dan non teknis seperti regulasi dan kearifan lokal yang harus diikuti. Hasil dari studi ini selanjutnya secara khusus dapat digunakan pemangku kepentingan untuk menentukan lokasi tapak sumur eksplorasi panas bumi di area Cisolok-Cisukarame dan secara umum metode ini dapat diterapkan pada lokasi-lokasi lain. Tujuan dari pengeboran sumur eksplorasi sendiri adalah untuk mengkonfirmasi keberadaan sumber daya panas bumi yang diperkirakan berdasarkan hasil survei 3G (geologi, geokimia dan geofisika).

Studi ini dilakukan di area prospek panas bumi Daerah Cisolok-Cisukarame di Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat (**Gambar 1**). Area prospek ini telah ditetapkan sebagai Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) pada tahun 2007 berdasarkan surat keputusan Menteri ESDM nomor 1937.K/30/MEM/2007 dengan total sumber daya yang tercantum sebesar 30 - 45 MW_e dengan luas WKP sebesar 15.580 hektar (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2007).

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan untuk studi ini adalah pemodelan spasial berbasis SIG. SIG ini dapat membantu analisis pemilihan lokasi yang sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Hal ini dapat menangani data dan informasi spasial untuk mengambil keputusan dengan lebih objektif dan mengurangi faktor *human error* (Noorollahi *et al.*, 2007b). Pemodelan SIG didefinisikan oleh Jensen dan Jensen (2012) sebagai struktur informasi digital yang merepresentasikan fenomena yang ada di atas dan/atau bawah permukaan bumi berupa data vektor dan raster.

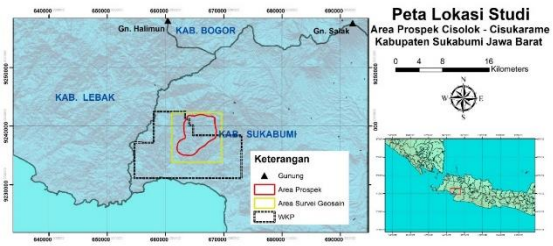
Pemodelan SIG terdiri dari dua kegiatan yaitu operasional parameter *input* dan pembobotan atau pemeringkatan. Operasional parameter dapat dilakukan dalam bentuk data vektor atau raster. Operasi vektor yang sering dipakai adalah operasi *boolean* yaitu *union* (*OR*), *intersection* (*AND*), pengurangan (*NOT*). Sedangkan untuk data raster, operasi matematik biasa dapat diterapkan pada data. Dalam pembobotan atau perankingan akan menggunakan metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM*)*. Penerapannya dapat dilakukan pada parameter *input*, hasil operasional spasial atau pada keduanya. Ozsahin *et al.* (2021) mendefinisikan MCDM sebagai cabang ilmu yang berhubungan dengan bagaimana sebuah keputusan lebih baik diambil dari pilihan-pilihan yang ada berdasarkan kriteria atau sifat-sifat pada data dan informasi yang sebelum tidak begitu jelas bagi pengambil keputusan. Lebih lanjut, Alias *et al.* (2008) membagi metode *MCDM* ini menjadi *MCDM* konvensional dan *MCDM Artificial Intelligent* (AI).

Pemodelan SIG yang berhubungan dengan panas bumi telah menggunakan kedua jenis *MCDM* tersebut dalam tahap pembobotan. Contoh penerapan *MCDM* konvensional dalam pemodelan SIG antara lain dilakukan oleh Noorollahi *et al.* (2007a); Noorollahi *et al*. (2015); dan Nugraha *et al*. (2021) menggunakan metode *boolean and index overlay knowledge driven*. Dua penerapan MCDM konvensional selanjutnya adalah Yalcin dan Gul (2017) menggunakan metode AHP dan Kiavarz dan Jelokhani-Niaraki (2017) mengaplikasikan metode *ordered weighted averaging* (*OWA*). Sedangkan penerapan *MCDM* AI telah dilakukan oleh Sadeghi dan Khalajmasoumi (2015) menggunakan metode kombinasi *binary index overlay and fuzzy logic methods* dan Abuzied *et al.* (2020) menggabungkan metode *information value* (IV) *and weights-of-evidence* (*WoE*).

Pemodelan SIG untuk membuat peta area rekomendasi tapak sumur pada studi ini dibagi menjadi dua tahap yaitu penyiapan parameter-parameter *input* dan integrasi data spasial. Pada tahap awal ini, terhadap beberapa parameter dilakukan pembuatan area bufer dan klasifikasi dengan rentang nilai tertentu. Penentuan batas nilai tersebut dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan yaitu pengetahuan teknis dan/atau regulasi yang ada. Secara umum pembobotan tersebut didasarkan pada perkiraan bobot biaya yang akan dikeluarkan dalam proses pengeboran. Sebagai contoh, biaya pengeboran sangat tergantung pada kedalaman sumur. Semakin dalam suatu sumur maka akan semakin besar biaya yang dikeluarkan. Jadi untuk lokasi yang diperkirakan memiliki total kedalaman yang relatif besar akan diberikan bobot lebih kecil dibandingkan lokasi dengan perkiraan total kedalaman lebih dangkal. Sebelum diintegrasikan, data spasial ini disesuaikan dengan area prospek panas bumi. Tahap integrasi data spasial adalah penerapan operasi *vector overlaying boolean*. Pembuatan area bufer, operasi *boolean* dan pengklasifikasian dapat dilakukan dengan menggunakan piranti lunak SIG seperti ArcGIS 10 (Gorr dan Kurland 2020)

Peta area rekomendasi tapak sumur eksplorasi panas bumi (PAR) sebagai hasil akhir studi ini merupakan integrasi dari delapan parameter, yaitu Peta Area Prospek (AP), Peta Kemiringan Lahan (KL), Peta Area Kedalaman Puncak Reservoir (PR), Peta Struktur Geologi (SG), Peta Sumber Air (SA), Peta Jalan Akses (JA), Peta Area Pemukiman (AM), Peta Area Manifestasi Permukaan (MP), dan Peta Cagar Budaya (CB). Parameter-parameter ini dapat dikategorikan sebagai parameter yang akan mempengaruhi besarnya biaya pengeboran secara langsung seperti PR, KL, SG, SA, dan JA. Jarak secara vertikal dari PR dan SG; dan jarak horizontal dari KL, SA, dan JA akan mempengaruhi besar biaya pengeboran sumur. Sedangkan AM, MP, dan CB merupakan parameter-parameter yang menjadi area terlarang untuk dilakukan pengeboran sumur eksplorasi panas bumi.

Data dan informasi yang dipergunakan dalam studi ini berasal dari dua sumber utama yaitu hasil survei lapangan Daerah Cisolok-Cisukarame dan data yang diunduh dari situs web Badan Informasi Geospasial (BIG). Data dan informasi yang berasal hasil survei lapangan antara lain area PR, SG dan MP. Sedangkan data dan informasi yang berasal dari situs web BIG adalah KL yang merupakan hasil pemrosesan dari citra DEMNAS, sementara SA, JA, AM dan CB merupakan hasil olahan Peta Rupa Bumi Indonesia atau RBI (BIG, 2023).



Gambar 1. Lokasi Studi Area Panas Bumi Cisolok-Cisukarame

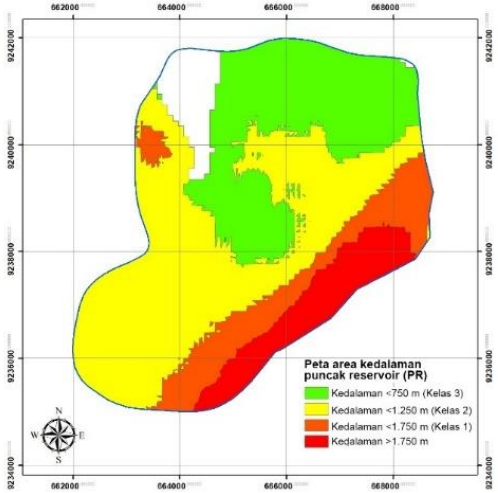
PENYIAPAN PARAMETER *INPUT*

Sebelum dilakukan integrasi data untuk mendapatkan peta area rekomendasi tapak sumur untuk lokasi pengeboran sumur eksplorasi panas bumi, semua parameter *input* dilakukan pemotongan data spasial sesuai dengan bentuk area prospek P_{10}, pembuatan area bufer dan klasifikasi area ke dalam tiga kelas.

Peta area kedalaman puncak reservoir (PR)

Peta area kedalaman puncak reservoir (PR) merupakan peta kedalaman terbawah dari lapisan yang dianggap sebagai batuan tudung (*caprock*), didapatkan ketebalan batuan tudung 300-1.800 meter. Sedangkan reservoirnya memiliki ketebalan 200-1.000 meter dengan kedalaman puncak reservoir di 700-1.900 meter (Anonim, 2021). Batuan tudung dari survei magnetotelurik (MT) di ambil nilai batas resistivitas sebesar 21 ohm-meter dengan asumsi bahwa suhu reservoir sebagai reservoir suhu menengah (<225°C)

Kelas ini dipilih dengan asumsi bahwa total kedalaman sumur pada masing-masing kelas adalah kedalaman sampai dengan 750 meter (kelas 3), kedalaman sampai dengan 1.250 meter (kelas 2) dan kedalaman sampai dengan 1.750 meter (kelas 1). Bagian utara sampai bagian tengah prospek dikategorikan sebagai area kelas 3 yaitu area dengan kedalaman puncak reservoir sampai dengan 750 meter. Kelas ini merupakan kelas dengan nilai pembobotan tertinggi (3 poin). Kelas 2 merupakan kelas paling dominan di sebagian besar area prospek yaitu di bagian barat, selatan dan tengah area prospek. Sedangkan bagian timur, kedalaman *BoC* (*Base of Conductor*) atau dasar dari lapisan konduktif didominasi oleh kelas 1 yaitu kedalaman antara 1.250-1.750 meter dan yang termasuk sebagai area terlarang (>1.750 meter). Untuk klasifikasi area terlarang ini, selain area dengan kedalaman *BoC* lebih dari 1.750 meter, area yang tidak memiliki indikasi adanya *BoC* juga termasuk dalam kategori ini. Area prospek yang tidak terdapat *BoC* yaitu area pada bagian barat-laut dan timur-laut area prospek. Sehingga pada bagian ini dikategorikan juga sebagai area yang tidak disarankan sebagai lokasi tapak sumur.

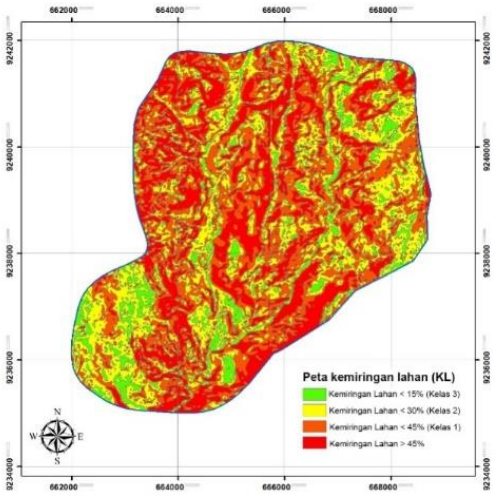


Gambar 2. Peta area kedalaman puncak reservoir (PR) modifikasi dari Anonim (2021)

Peta kemiringan lahan (KL)

Peta kemiringan lahan (KL) merupakan peta yang menggambarkan kemiringan lahan pada area studi dengan satuan persentase. Peta ini dihasilkan dari pengolahan perhitungan raster dari citra DEMNAS dengan resolusi spasial 8,2 meter. Kemiringan lahan tersebut selanjutnya diklasifikasikan menjadi empat kelas dengan interval sebesar 15%. Area dengan kemiringan sampai dengan 45% dianggap area yang masih cocok untuk lokasi tapak sumur sedangkan area dengan kemiringan 45% atau lebih besar dianggap sebagai area *non-suitable* atau area yang terlarang.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa kemiringan lahan area prospek didominasi area dengan kemiringan curam. Area dengan kemiringan di atas 30% ini melingkupi 61% area prospek. Untuk area yang dikategorikan kelas 3 (<=15%) dan kelas 2 (<=30%) yang terletak di bagian barat daya dan timur laut area prospek.

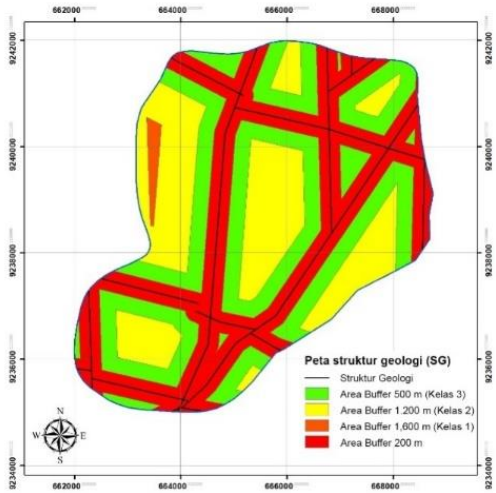


Gambar 3. Peta kemiringan lahan (KL)

Peta struktur geologi (SG)

Dalam desain sumur panas bumi, area struktur geologi dianggap mewakili area yang memiliki tingkat permeabilitas tinggi yang menjadi target pengeboran. Jadi area rekomendasi tapak sumur sebaiknya dekat dengan area struktur geologi. Karena data struktur geologi ini berupa garis maka dibuat *proximity area* dengan membuat area bufer dengan jarak tertentu dari garis tersebut.

Untuk studi ini, peta *SG* merupakan peta hasil *multi-buffering* dengan jarak maksimum 200 meter; 500 meter; 1.200 meter; dan 1.600 meter dari struktur geologi utama (**Gambar 4**). Nilai 200 meter bufer tersebut merupakan area bufer sekitar struktur geologi. Area bufer ini merupakan area yang tidak stabil sehingga memiliki potensi bencana yang tinggi sebagaimana dijelaskan dalam studi yang dilakukan oleh Yousefi dan Ehara (2008) dalam menentukan lokasi yang cocok untuk pembangunan pembangkit listrik panas bumi. Nilai bufer kedua merupakan area dengan kategori kelas 3. Nilai ini diambil berdasarkan studi dari Noorollahi *et al.* (2008b) mengambil jarak bufer sejauh 500 meter ke arah dip struktur geologi tersebut. Untuk kelas selanjutnya diambil batas nilai bufer sejauh 1,2 km dan 1,6 km berdasarkan pertimbangan teknis yang biasa digunakan dalam pengeboran sumur miring (*directional*) panas bumi.



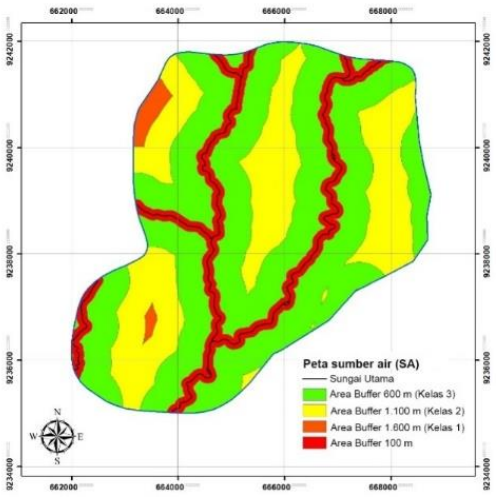
Gambar 4. Peta struktur geologi (SG) modifikasi dari Anonim (2021)

Peta sumber air (SA)

Peta sumber air (SA) merupakan area bufer yang menujukan jarak kandidat tapak sumur dengan sumber air. SA ini merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi biaya pengeboran yang

besarnya harus diminimalkan. Jadi semakin jauh jarak dengan sumber air maka semakin besar biaya pengeboran yang akan dikeluarkan. Fitur sebagai sumber air adalah sungai, danau, embung atau sumber air permukaan lainnya yang didapatkan dari Peta RBI.

Gambar 5 merupakan SA dengan tiga kelas dengan jarak maksimum 1.600 meter dengan rentang kelas 500 meter. Jarak sejauh 1.500 meter ini masih dianggap memungkinkan secara teknis dan ekonomis untuk pengeboran eksplorasi didaerah pegunungan seperti area Cisukarame ini. Sedangkan, Yousefi dan Ehara (2008) mengambil jarak lebih pendek yaitu hanya 200 meter sebagai area bufer dari sumber air untuk menentukan lokasi pembangkit panas bumi. Selain itu, area bufer sejauh 100 meter dari jarak sumber air diambil menjadi daerah terlarang sesuai dengan regulasi yang ada tentang area sempadan sungai. Sempadan ini yang berjarak 50-100 meter tergantung pada lokasi sungai atau danau tersebut berada dengan tujuan untuk menghindari bahaya dan pencemaran air permukaan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015). Dengan tujuan yang sama, untuk bufer area terlarang ini, Baffoe dan Sarpong (2016) menyarankan jarak paling sedikit 250 meter antara aktivitas manusia dengan sungai dan sumber air lain.

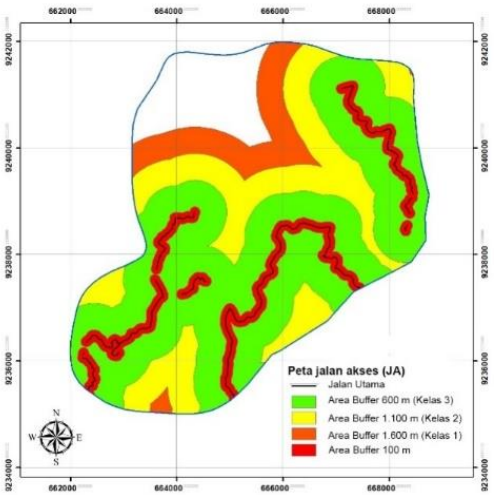


Gambar 5. Peta sumber air (SA) modifikasi dari BIG (2023)

Sungai besar yang melintang dari utara-selatan menunjukkan bahwa sumber air untuk pengeboran didaerah Cisolok-Cisukarame ini tersedia cukup ideal. Hal ini ditunjukkan dengan luas area bufer kelas 3 dengan jarak di bawah 600 meter yang mencapai 56% dari area prospek. Bahkan jika digabungkan dengan kelas 2 akan mencapai 85% dari area prospek.

Sama dengan pembuatan peta SA, untuk membuat peta JA, diambil jarak sejauh 500 meter kiri dan kanan dari pusat jalan akses tersebut seperti di tunjukkan pada **Gambar 6**. Nilai jarak tersebut dianggap masih masuk dalam perhitungan keekonomian mengingat ini merupakan sumur eksplorasi. Sebagai perbandingan, Baffoe dan Sarpong (2016) mengambil jarak maksimum sejauh 2 km untuk memilih lokasi pembangkit tenaga angin. Sedangkan Yousefi dan Ehara (2008) mengambil nilai 100 meter bufer untuk mencari lokasi pembangkit panas bumi yang ideal, jarak tersebut dapat dibuat lebih dekat karena telah tersedia infrastruktur.

Infrastruktur jalan pada lokasi Cisolok-Cisukarame bisa dikatakan cukup baik. Hal ini ditunjukkan dengan luas JA pada kelas 3 dan kelas 2 yang mencapai 56% dan 29%. Jalan-jalan tersebut menghubungkan antara area luar prospek dengan area-area pemukiman dalam area prospek.



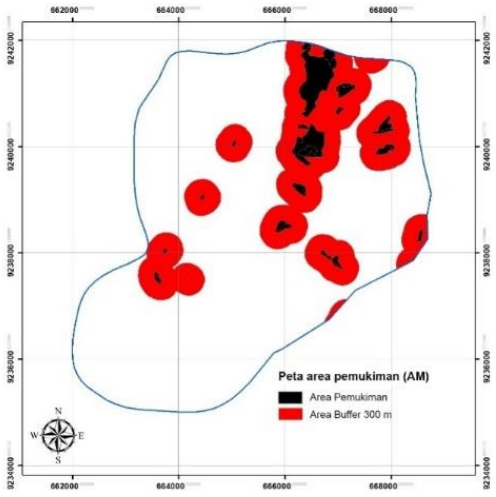
Gambar 6. Peta jalan akses (JA) modifikasi dari BIG (2023)

Peta area pemukiman (AM)

Berdasarkan pertimbangan teknis dan regulasi aktivitas pengusahaan panas bumi tidak dapat dekat dengan pemukiman, daerah wisata dan/atau tempat yang memiliki nilai sejarah dan budaya. Faktor teknis dapat dilihat antara lain dari aspek keselamatan dan kesehatan kerja dan lindungan lingkungan (K3LL). Pertimbangan K3LL antara lain adanya kebisingan dan adanya kemungkinan perubahan muka bumi yang akan mempengaruhi kehidupan masyarakat. Dari sisi regulasi, terdapat peraturan-peraturan yang menyebabkan pengusahaan panas bumi tidak dapat terlalu dekat dengan pemukiman. Ada beberapa peraturan baik langsung maupun tidak langsung dan masih berhubungan dengan faktor teknis yang harus dipatuhi. Peraturan tersebut antara lain regulasi tentang jarak minimum dengan kegiatan tambang dan tingkat kebisingan. Di Iran, terdapat regulasi yang menentukan jarak minimum pembuatan sumur dalam seperti sumur panas bumi jarak minimum dari pemukiman, yaitu minimal sejauh 1.000 meter (Noorollahi et al., 2008b). Sedangkan Yousefi dan Ehara (2008) menyarankan jarak paling dekat sejauh 500 meter untuk lokasi pembangkit panas bumi.

Dengan pertimbangan regulasi dan teknis, studi ini mengambil nilai AM sejauh 300 meter dari pemukiman (**Gambar 7**). Jarak sejauh itu merupakan nilai kompromi dari berbagai peraturan dan standar yang ada. Salah satu standar yang dapat diacu dalam kasus ini SNI tentang Operasi Pengeboran Darat dan Lepas Pantai yang Aman di Indonesia. SNI ini menjelaskan bahwa jarak tapak sumur dengan jalan umum, rel kereta api, dan pemukiman adalah paling sedikit sejauh 100 meter. Selain standar, meskipun tidak secara khusus untuk kegiatan pengusahaan panas bumi, dengan asumsi bahwa aktivitas pengeboran sumur eksplorasi panas bumi dan tambang terbuka adalah sama dalam penggunaan alat-alat berat maka Peraturan Menteri Lingkungan Hidup tentang Indikator Ramah Lingkungan untuk Usaha dan/atau Kegiatan Penambangan Terbuka Batubara menjadi peraturan yang diacu. Peraturan tersebut menjelaskan bahwa jarak minimal tepi galian lubang tambang dengan pemukiman warga adalah 500 meter.

Dengan *proximity* sejauh 300 meter tersebut, maka luas area AM tersebut melingkupi sekitar 27% dari area prospek. **Gambar 7** menunjukkan bahwa sebagian besar pemukiman berada di daerah utara dan tengah pada area prospek. Pada daerah utara dan timur prospek merupakan area dengan elevasi cukup tinggi. Sebagian kecil dari pemukiman ini juga berada di sekitar timur dan barat dari area prospek.



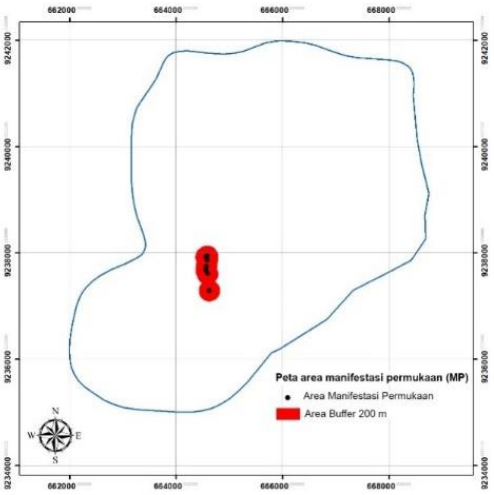
Gambar 7. Peta area pemukiman (AM) modifikasi dari BIG (2023)

Peta area manifestasi permukaan (MP)

Peta area manifestasi permukaan (MP) juga merupakan parameter untuk membuat area terlarang untuk lokasi tapak sumur adalah area bufer di sekitar manifestasi termal. Manifestasi termal dimaksud antara lain mata air panas, tanah panas, area terubah (*altered*) dan fumarol. MP pada studi ini diambil sejauh 100 meter berdasarkan studi yang dilakukan oleh Yousefi and Ehara (2008).

Parameter jarak lokasi tapak sumur dari titik manifestasi tersebut ditentukan

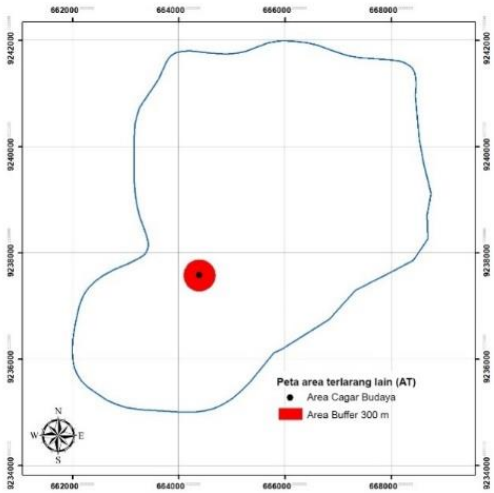
berdasarkan dari segi K3 dan segi ekonomi-lingkungan. Sama dengan area sekitar struktur geologi, area sekitar manifestasi permukaan juga dianggap sebagai indikasi zona lemah. Jadi MP merupakan area yang sebaiknya dihindari digunakan sebagai lokasi untuk bangunan permanen termasuk untuk sumur panas bumi.



Gambar 8. Peta area manifestasi permukaan (MP) modifikasi dari Anonim (2021)

Peta area cagar budaya (CB)

Peta area cagar budaya (CB) merupakan parameter tambahan sebagai area terlarang untuk lokasi tapak sumur panas bumi. Area-area terlarang ini bisa karena secara regulasi (kawasan hutan konservasi dan taman nasional), adat atau pertimbangan seperti area yang dikeramatkan. Di lokasi Cisolok-Cisukarame, area terlarang terdapat di sekitar warisan cagar budaya (CB) (**Gambar 9**).



Gambar 9. Peta cagar budaya (CB) modifikasi dari BIG (2023)

Tabel 1. Nilai Batas Bufer untuk Masing-Masing Parameter *Input*.

No	Parameter	Bufer			
		Daerah Terlarang	Kelas 3	Kelas 2	Kelas 1
1.	*PR*	>1,750 m	<=750 m	<=1,250 m	<=1,750 m
2.	*KI*	>45%	<=15%	<=30%	<=45%
3.	*SG*	<=200 m	<=500 m	<=1.200 m	<=1.600 m
4.	*SA*	<=100 m	<=600 m	<=1.100 m	<=1.600 m
5.	*JA*	<=100 m	<=600 m	<=1.100 m	<=1.600 m
6.	*AM*	<=300 m	-	-	-
7.	*MP*	<=200 m	-	-	-
8.	*CB*	<=300 m	-	-	-

INTEGRASI DATA SPASIAL

Tahap integrasi data spasial terdiri dari pembuatan dua peta hasil antara dan peta hasil akhir sebagaimana tergambar pada Gambar 10. Peta hasil antara yaitu peta area yang disarankan (PAS) dan peta area yang tidak disarankan (PTS) sebagai lokasi tapak sumur eksplorasi**.** PAS merupakan hasil irisan area parameter-parameter untuk memilih lokasi yang cocok untuk tapak sumur (**Formula 1**). Sebaliknya, PTS adalah hasil gabungan area parameter-parameter yang terlarang sebagai area lokasi tapak sumur (**Formula 2**). Peta hasil akhir adalah peta rekomendasi tapak sumur yang merupakan hasil pengurangan area PAS dengan PTS (**Formula 3**).

Pembuatan Peta Area Yang Disarankan Untuk Tapak Sumur Panas Bumi (PAS)

Peta Area Yang Disarankan Untuk Tapak Sumur Panas Bumi (PAS) merupakan hasil integrasi spasial dari lima parameter yaitu KL, PR, SG, SA dan JA. Pertama, kelima parameter tersebut dilakukan *intersecting* (*AND*) yang menghasilkan area dan atribut baru (**Formula 1**). Nilai atribut baru tersebut merupakan hasil penjumlahan kelas masing-masing kelima parameter tersebut. Selanjutnya, nilai atribut tersebut diklasifikasikan kembali menjadi tiga kelas dengan interval kelas sebesar kisaran dibagi tiga. Hasil akhir tersebut memiliki tiga kelas area yang dikategorikan sebagai Area Disarankan Kelas Tingkat Tinggi, Area Disarankan Kelas Tingkat Menengah dan Area Disarankan Kelas Tingkat Rendah sebagai area untuk lokasi tapak sumur eksplorasi panas bumi.

Pembuatan Peta Area Yang Tidak Disarankan Tapak Sumur Panas Bumi (PTS)

Peta zona terlarang merupakan hasil integrasi spasial dari tiga parameter pembatas yaitu AM, MP, dan AT dengan operasi vektor *Union* (OR) menggunakan **Formula 2**. Peta ini mewakili area terlarang untuk lokasi tapak sumur karena gabungan beberapa faktor. Faktor tersebut disebabkan oleh pertimbangan teknis, ketentuan regulasi atau pertimbangan sosial. Hasilnya adalah Peta Area Yang Tidak Disarankan Tapak Sumur Panas Bumi (PTS).

Pembuatan Peta Area Rekomendasi Tapak Sumur Panas Bumi (PAR)

Peta Area Rekomendasi Tapak Sumur Panas Bumi (PAR), yang merupakan hasil akhir studi ini, merupakan hasil pengurangan area yang disarankan (PAS) dengan area yang tidak (PTS) menggunakan operasi vektor *Erase* (*NOT*) menggunakan **Formula 3**. Area dalam PAR ini memiliki tiga kelas dengan kriteria yang sama dengan PAS, yang dinamai kembali sebagai Area Rekomendasi Kelas Tingkat Tinggi, Area Rekomendasi Kelas Tingkat Menengah dan Area Rekomendasi Kelas Tingkat Rendah sebagai area untuk tapak sumur eksplorasi panas bumi.

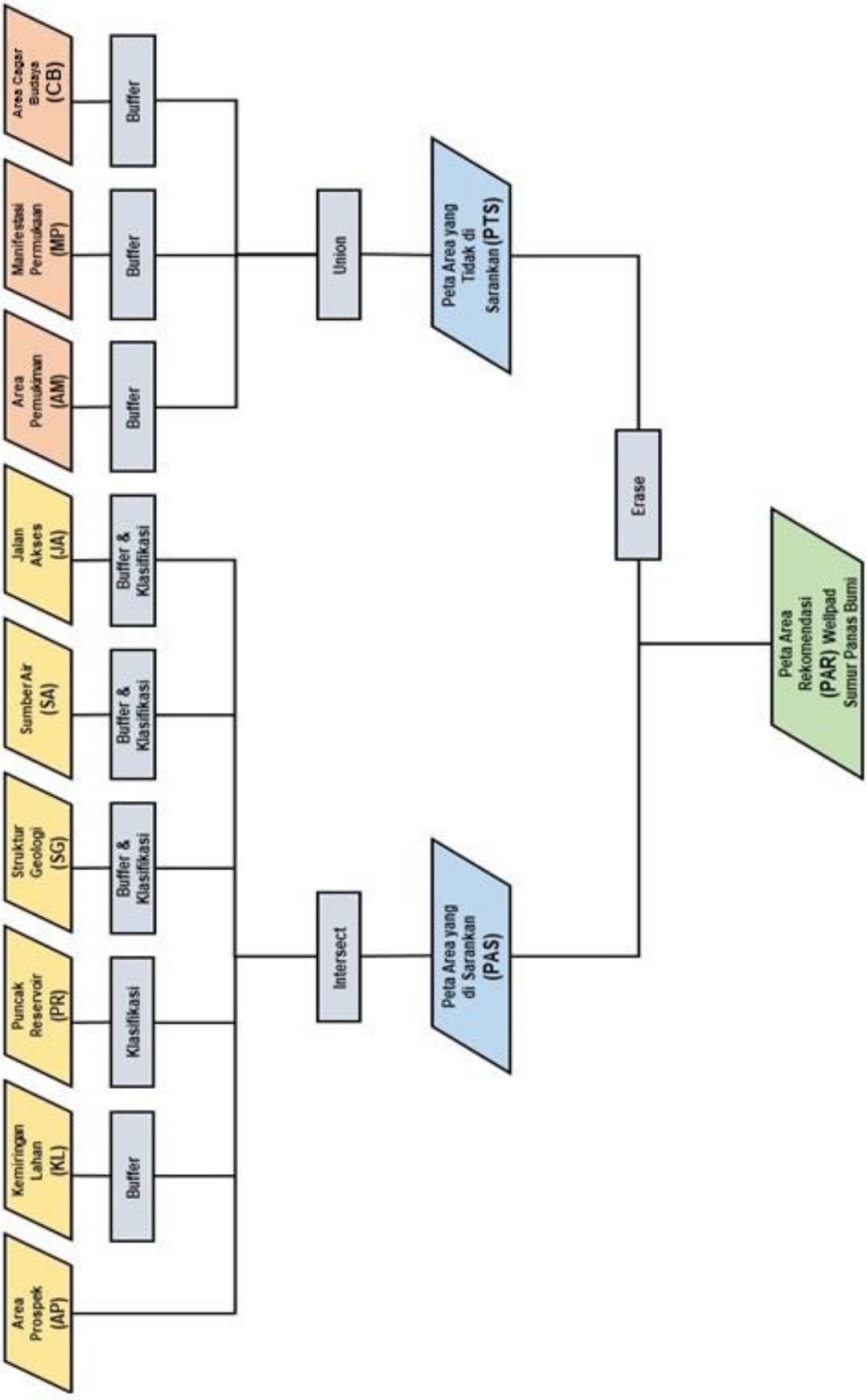
$$PAS = AP \cap KL \cap PR \cap SG \cap SA \cap JA \quad \text{.....(1)}$$

$$PTS = AM \cup MP \cup CB \quad \text{.....(2)}$$

$$PAR = PAS - PTS \quad \text{.....(3)}$$

dengan,

$\cap$	:	*Intersect (AND)*
$\cup$	:	*Union (OR)*
-	:	*Erase (NOT)*
PAR	:	Peta Area Rekomendasi Tapak Sumur Panas Bumi
PAS	:	Peta Area Yang Disarankan
PTS	:	Peta Area Yang Tidak Disarankan
AP	:	Peta Area Prospek
KL	:	Peta Kemiringan Lahan
PR	:	Peta Area Kedalaman Puncak Reservoir
SG	:	Peta Struktur Geologi
SA	:	Peta Sumber Air
JA	:	Peta Jalan Akses
AM	:	Peta Area Pemukiman
MP	:	Peta Area Manifestasi Permukaan
CB	:	Peta Area Cagar Budaya



Gambar 10. Diagram Alir Integrasi Data Spasial untuk pembuatan Peta Area Rekomendasi Lokasi Tapak Sumur Eksplorasi Panas Bumi

SISTEM PANAS BUMI CISOLOK CISUKARAME

Hasil survei geologi menunjukkan bahwa sistem panas bumi Cisolok-Cisukarame merupakan sistem vulkanik *medium - high terrain*. Sumber panas diperkirakan berasal dari sisa aktivitas Gunung Halimun yang berumur Kuarter.

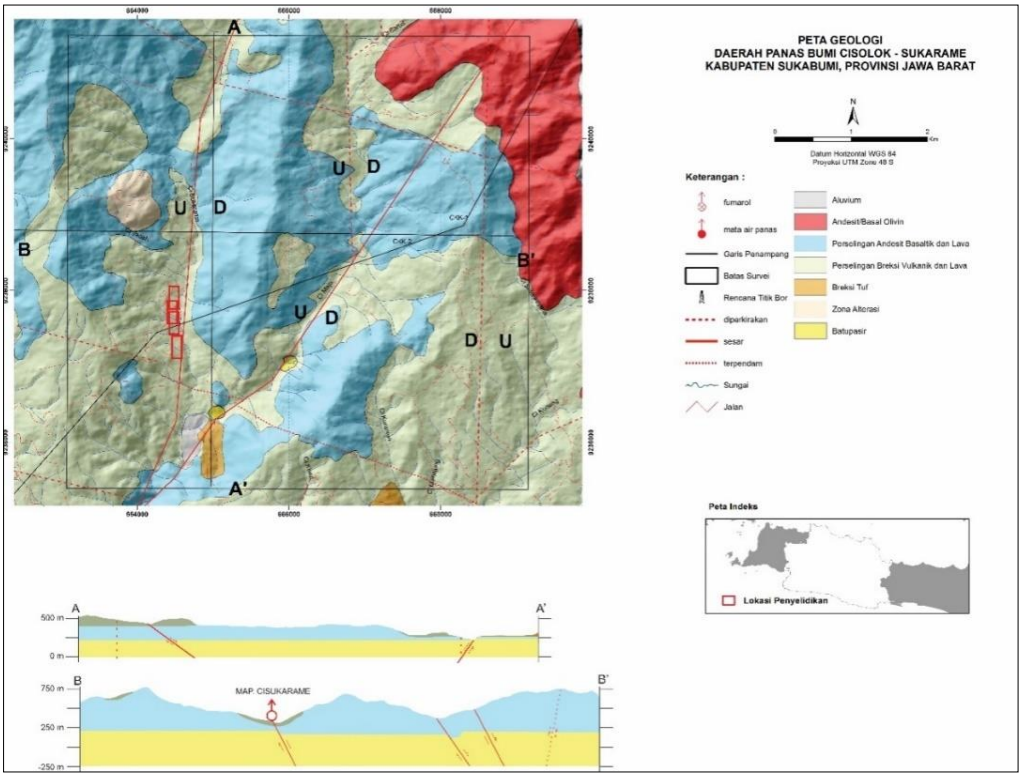
Pola struktur yang berkembang berupa sesar berarah utara-selatan dan sesar berarah barat daya-timur laut. Struktur ini mengontrol munculnya manifestasi mata air panas dan tanah beruap dan merupakan indikasi permeabilitas di di daerah ini (Gambar 11).

Suhu air dari mata air panas di Cisukarame mencapai titik didih (101°C). Dari analisis kimia menunjukkan bahwa fluida tersebut berasal dari reservoir dominasi air dengan pH netral dan estimasi suhu reservoir berkisar 200˚C s.d. 235˚C.

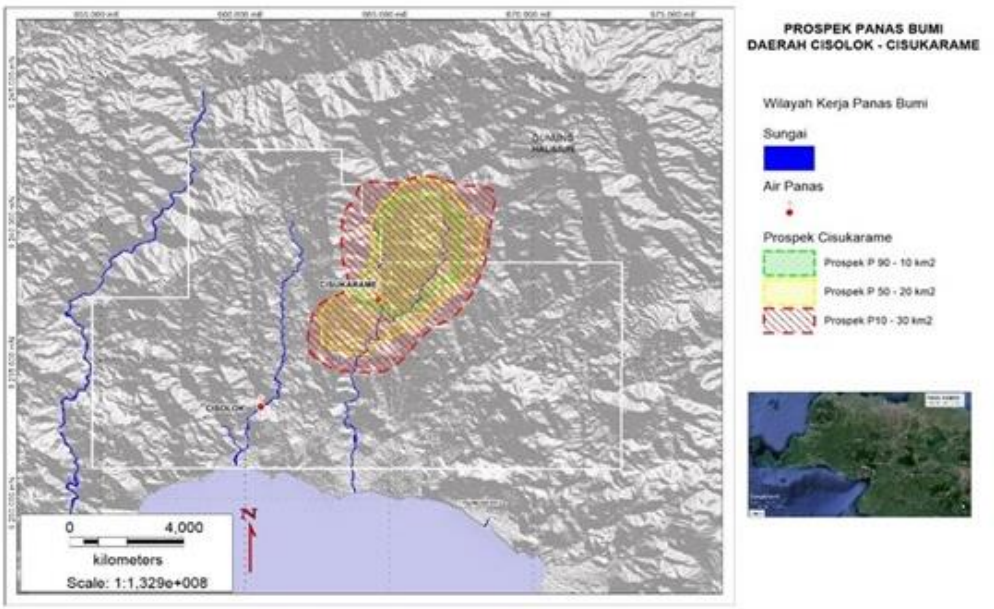
Data tahanan jenis menunjukkan adanya zona reservoir berada di bawah lapisan penudung atau lapisan batuan konduktif di Daerah Cisolok dan Cisukarame. Estimasi kedalaman puncak reservoir berkisar 700m hingga 1.900m. Puncak reservoir. terdangkal berada di area bagian tengah atau di sekitar Bukit Ci Arca.

Hasil survei geologi, geokimia dan geofisika di daerah panas bumi Cisolok-Cisukarame telah memberikan informasi mengenai keberadaan area prospek, sistem panas bumi dan estimasi besarnya sumber daya energi yang terkandung di dalamnya (Gambar 12). Area prospek ini yang digunakan sebagai rekomendasi teknis lokasi pengeboran eksplorasi panas bumi yang merupakan lanjutan dari tahapan ekplorasi.

Area prospek panas bumi dalam studi ini adalah area prospek $P_{10.}$ terletak di sekitar Bukit Ci Arca, Sukarame dan Sirnarasa dengan luas 10 km^2 hingga 30 km^2. Perhitungan volumetrik menggunakan simulasi Monte Carlo didapatkan estimasi sumberdaya sebesar 22 MW_e hingga 81 MW_e dengan P_{50} sekitar 45 MW_e (Anonim, 2021).



Gambar 11. Peta Geologi Daerah Cisolok-Cisukarame (Mustofa *et al*, 2021)



Gambar 12. Peta Area Prospek Panas Bumi Daerah Cisolok-Cisukarame (Anonim, 2021)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum studi ini dilakukan telah ditentukan 2 (dua) lokasi tapak sumur dan pengeboran satu sumur pada Daerah Cisolok-Cisukarame ini. Dua lokasi tapak yaitu CKK-1 dan CKK-2 yang berada di sebelah timur-laut dan timur area prospek. Sedangkan pengeboran sumur CKK-1A dilakukan pada tapak sumur CKK-1. Sumur tersebut merupakan sumur *slimhole* dengan kedalaman kurang dari 900 meter dari 2.000m yang direncanakan. Dengan kedalaman tersebut, pengeboran di CKK-1A belum mencapai kedalaman reservoir yang diperkirakan berada pada kedalaman 1.250-1.750 meter.

Dalam studi ini dilakukan perhitungan ulang besar sumber daya dengan pendekatan monte carlo dengan asumsi Daerah Cisolok-Cisukarame merupakan sistem panas bumi dengan suhu menengah. Penghitungan ulang menghasilkan sumber daya panas bumi sebesar 25 – 95 MW_e dengan P_{50} sebesar 52 MW_e dan nilai rata-rata sebesar 56 MW_e (Lampiran 1). Selanjutnya, dilakukan perhitungan per satuan luas prospek yaitu untuk luas prospek maksimum, *most-likely* dan minimum. Hasil perhitungan dengan menggunakan parameter luas tersebut didapatkan sumber daya sebesar 83 MW_e, 48 MW_e, dan 35 MW_e. Sumber daya tersebut didapat dengan ketebalan reservoir berbeda berdasarkan kedalaman puncak reservoir. Interval ketebalan untuk luas prospek maksimum, *most-likely* dan minimum secara berturut-turut adalah 550-1.750 meter, 750-1.750 meter, dan 1.250-1750 meter untuk masing-masing luas.

Tapak Sumur CKK-1 dan CKK-2 berada di area prospek *most-likely*, sedangkan CKK-2 berada di area prospek minimum. Jadi apabila target Sumur CKK-1 berhasil dilakukan maka dapat mengkonfirmasi keberadaan sumber daya panas bumi pada area *most-likely* prospek tersebut. Sedangkan jika Sumur CKK-2 berhasil sesuai target, maka sumur ini dapat mengkonfirmasi sumber daya pada area minimum.

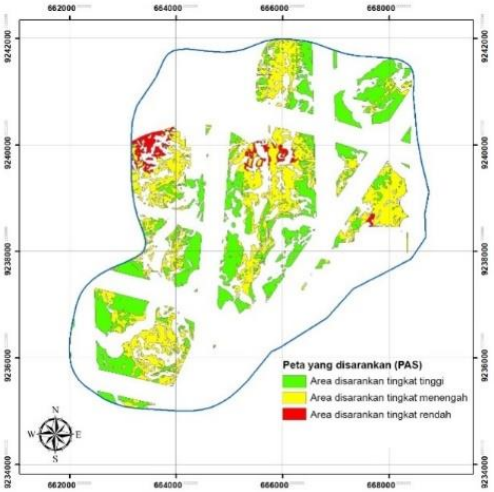
Area Yang Disarankan Untuk Tapak Sumur Eksplorasi Panas Bumi (PAS)

Gambar 13 adalah Peta area yang disarankan untuk tapak sumur eksplorasi panas bumi (PAS) yang merupakan area prioritas untuk lokasi tapak sumur dengan tiga tingkatan yaitu area yang disarankan kelas tingkat tinggi, menengah dan rendah. Peta ini merupakan hasil reklasifikasi irisan

lima peta area bufer yaitu KL, PR, SG, SA dan JA.

Total luas PAS untuk lokasi tapak sumur tidak terlalu luas hanya 8,82 km^2 atau 27,4% dari luas area prospek. Rincian luas untuk masing-masing kelas adalah PAS kelas tingkat tinggi (4,15 km^2 ~ 12,9%), PAS kelas tingkat menengah (4,31 km^2 ~ 13,36%) dan PAS kelas tingkat rendah (0,37 km^2 ~ 1,14%).

Area yang dapat memenuhi kriteria besaran lima (5) parameter ini tidak terlalu luas. Luas area ini selanjutnya akan dikurangi dengan area berbahaya. Area berbahaya ini merupakan area yang tidak disarankan untuk lokasi bangunan permanen. Areanya ditunjukkan dengan area berwarna merah pada **Gambar 2** sampai dengan **Gambar 6**. PAS ini tersebar merata di area prospek kecuali di bagian barat laut dan timur. Hal ini disebabkan karena pada area bagian barat laut merupakan area yang tidak memiliki sebaran *BoC*, sedangkan bagian timur memiliki kedalaman *BoC* lebih dari 1.750 meter. Kedua area tersebut dianggap tidak memenuhi kriteria area yang tidak disarankan atau terlarang.

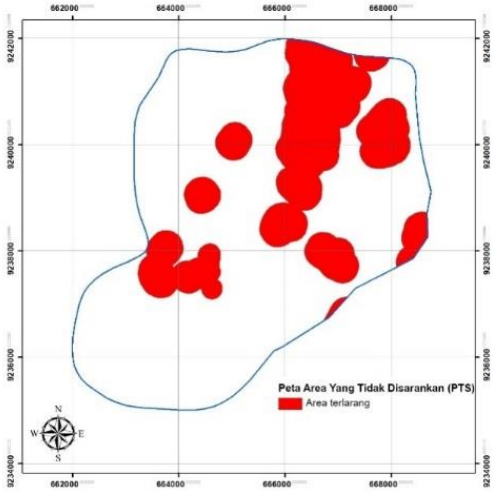


Gambar 13**.** Peta Area Yang Disarankan (PAS) untuk tapak sumur eksplorasi panas bumi Daerah Cisolok-Cisukarame

Peta Area Yang Tidak Disarankan Untuk Tapak Sumur Eksplorasi Panas Bumi (PTS)

Gambar 14 merupakan peta area yang tidak disarankan yang menggambarkan area terlarang untuk lokasi tapak sumur berdasarkan 3 parameter pembatas yaitu AM, MP dan CB. Luas AM mencapai 25% dari luas area prospek atau seluas 8,33 km^2, sedangkan parameter pembatas yang lain memiliki luas hanya kurang dari 2%.

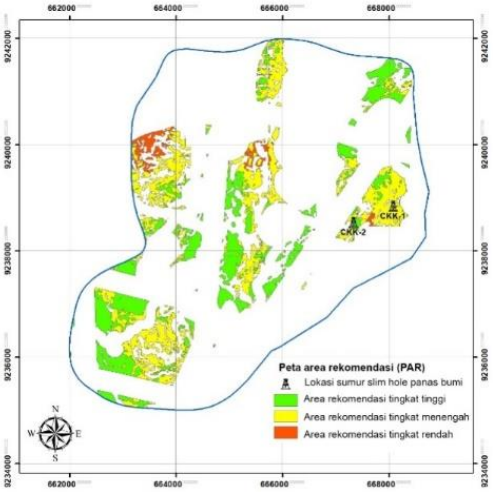
Hasil akhir studi ini adalah Peta Area Rekomendasi (PAR) untuk lokasi tapak sumur eksplorasi panas bumi sebagaimana dilihat pada **Gambar 15**. PAR ini merupakan hasil pengurangan PAS dengan PTS yang telah di reklasifikasikan dengan tiga tingkat kategori. Luas keseluruhan area PAR ini adalah 6,31 km^2 atau 19,62 % dari total prospek area P_{90}. Luas area PAR ini berkurang sekitar 28% dari luas PAS karena pengurangan area PTS.



Gambar 14. Peta Area Yang Tidak Disarankan (PTS) untuk tapak sumur eksplorasi panas bumi Daerah Cisolok-Cisukarame

Sebelum studi ini telah dilakukan penentuan dua lokasi tapak sumur pada area Cisolok-Cisukarame ini, yaitu CKK-1 dan CKK-2 (**Gambar 15**). Pada area tapak sumur CKK-1 telah dilakukan pengeboran sumur *slimhole* dengan kedalaman 900 meter. Lokasi CKK-1 berada pada area rekomendasi tingkat menengah sedangkan CKK-2 berada pada area rekomendasi tingkat tinggi.

Berdasarkan parameter-parameter *input*, lokasi CKK-1 dan CKK-2 berada pada kelas yang sama kecuali untuk SA atau jarak dari sumber air. CKK-1 berada pada kelas 2 sedangkan CKK-2 pada kelas 3. Untuk parameter PR, keduanya berada pada lokasi yang tidak ideal yaitu kelas 1 yang memiliki batas kedalaman antara 1.250 sampai dengan 1.750 meter. Berdasarkan hal tersebut maka total kedalaman vertikal sumur pada lokasi tersebut akan didesain antara 1.500 – 2.000 meter. Jadi pengeboran sumur *slimhole* pada CKK-1 belum menembus lapisan batuan yang dianggap sebagai batuan reservoir. Selain itu, meskipun CKK-2 berada pada area rekomendasi tingkat tinggi, namun berdasarkan **Gambar 16 (b)** tapak sumur CKK-2 juga tidak memiliki luas ideal.



Gambar 15. Peta Area Rekomendasi (PAR) untuk tapak sumur eksplorasi panas bumi Daerah Cisolok-Cisukarame

Peta Area Rekomendasi Untuk Tapak Sumur Eksplorasi Panas Bumi (PAR)

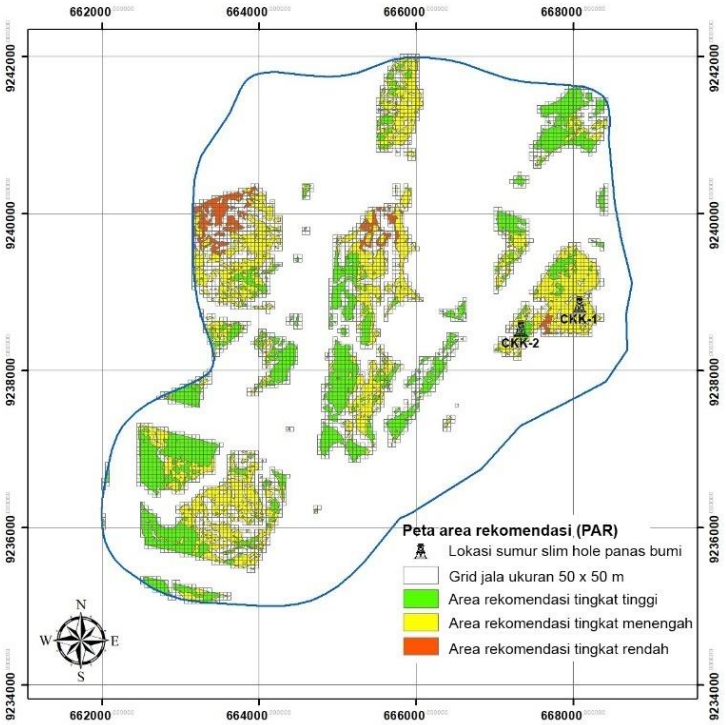
Gambar 16 (a) dan (b) merupakan peta area rekomendasi (PAR) untuk tapak sumur eksplorasi panas bumi Daerah Cisolok-Cisukarame grid jala 120x120 meter dan 50x50 meter. Dengan ukuran grid jala 120 meter, PAR menghasilkan delapan area kluster besar dan lima area kluster kecil. Sedangkan dengan ukuran grid jala lebih kecil yaitu 50 meter akan menghasilkan jumlah kluster yang sama ditambah setidaknya lima (5) kluster sangat kecil. Studi dari Purba *et al*. (2019) menjadi dasar pengambilan ukuran grid jala bahwa ukuran tapak sumur lubang standar adalah 120x70 meter dan sumur *slimhole* 50x40 meter.

Dengan mempertimbangkan peta hasil akhir (**Gambar 16**) dan peta parameter *input* (**Gambar 2, 3, 4, 5 dan 6**), lokasi tapak sumur berada di area bagian timur laut area prospek Cisolok-Cisukarame. Namun jika hanya berdasarkan peta pada **Gambar 16**, maka disarankan lokasi tapak sumur berada pada bagian timur laut, bagian tengah dan bagian barat daya area prospek dengan kategori area rekomendasi tingkat tinggi. Dengan pertimbangan peta kemiringan lahan (**Gambar 3**), bagian barat daya dan timur laut lebih direkomendasikan. Sedangkan jika mempertimbangkan **Gambar 2** yaitu peta kedalaman puncak reservoir, bagian timur laut dan bagian tengah prospek memiliki kedalaman kurang dari 750 meter, sedangkan bagian barat daya memiliki kedalaman *BoC* lebih dari 750 meter sampai dengan 1.250 meter.

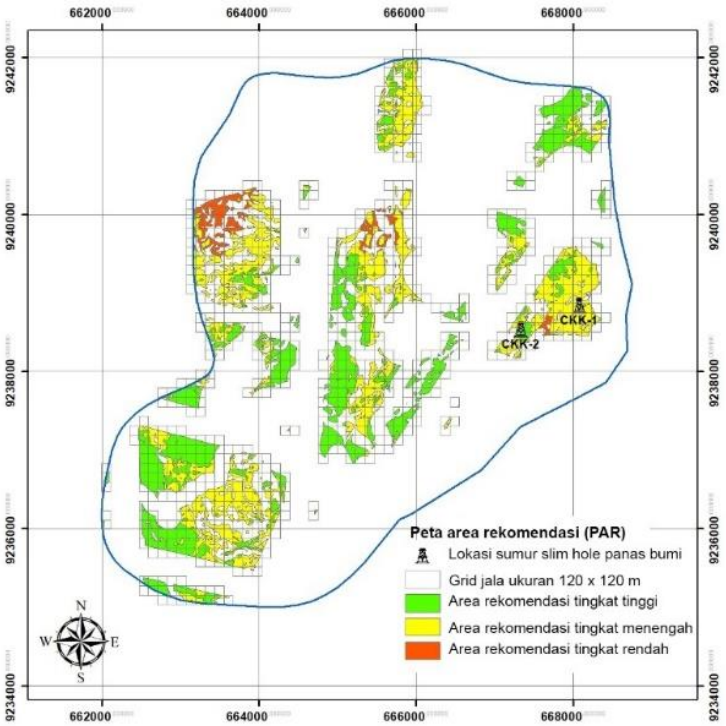
Hasil Akhir Area Rekomendasi (PAR) untuk tapak sumur eksplorasi panas bumi Daerah Cisolok-Cisukarame ini dapat direkomendasikan untuk dijadikan acuan penentuan lokasi tapak sumur dan perencanaan kegiatan survei lapangan selanjutnya. Hasil penentuan lokasi tapak sumur eksplorasi panas bumi masih perlu dilakukan kegiatan verifikasi lapangan untuk data-data yang perlu di perbaharui seperti area pemukiman dan jalan akses. Jika digunakan untuk perencanaan kegiatan survei lapangan seperti survei geoteknik dan perencanaan, dan survei infrastruktur, maka peta ini sudah cukup dapat membantu seperti desain survei fotogrametri dan lidar.

Dalam melakukan analisis selain menggunakan PAR ini, masih perlu mempertimbangkan hasil peta parameter *input*. Hal ini dikarenakan semua parameter *input* memiliki bobot yang sama, sehingga dianggap memiliki bobot

kepentingan yang sama. Hal ini mengakibatkan area dengan kelas yang sama pada PAR memiliki kualitas yang berbeda seperti diuraikan pada analisis di atas.



(a)



(b)

Gambar 16. Peta area rekomendasi (PAR) untuk tapak sumur eksplorasi panas bumi Daerah Cisolok-Cisukarame, (a) Peta dengan grid jala ukuran 50x50-meter, dan (b) Peta dengan grid jala ukuran 120x120-meter.

KESIMPULAN

Dengan mengintegrasikan delapan (8) parameter yang akan mempengaruhi besarnya biaya pengeboran, yaitu Peta Area Prospek (AP), Peta Kemiringan Lahan (KL), Peta Area Kedalaman Puncak Reservoir (PR), Peta Struktur Geologi (SG), Peta Sumber Air (SA), Peta Jalan Akses (JA), Peta Area Pemukiman (AM), Peta Area Manifestasi Permukaan (MP), dan Peta Area Cagar Budaya (CB), dihasilkan Peta Area Rekomendasi (PAR) untuk tapak sumur eksplorasi panas bumi.

Total luas peta area rekomendasi (PAR) untuk tapak sumur eksplorasi panas bumi Daerah Cisolok-Cisukarame sekitar 6,31 km^2 atau setara dengan 19,62 % luas area prospek P_{90}. Dengan menggunakan grid jala (*fishnet)* ukuran 120 meter, PAR tersebut menghasilkan delapan area kluster besar dan lima area kluster kecil yang cocok sebagai tapak sumur lubang standar. Sedangkan dengan ukuran grid jala 50 meter menghasilkan jumlah kluster yang sama ditambah setidaknya lima kluster sangat kecil.

Hasil studi ini dapat dijadikan acuan sebagai rekomendasi area untuk dijadikan lokasi tapak sumur dan perencanaan kegiatan survei lapangan selanjutnya seperti survei geoteknik dan perencanaan dan survei infrastruktur. Untuk kegiatan selanjutnya, perlu dilakukan verifikasi/ tinjauan lapangan tambahan terutama untuk data-data yang dinamis seperti area pemukiman dan jalan akses.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi c.q. Koordinator Panas Bumi Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) atas izin penggunaan data untuk penulisan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim editor yang telah memberikan koreksi serta saran dalam perbaikan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abuzied, S.M., Kaiser, M.F., Shendi, E.A.H. and Abdel-Fattah, M.I., 2020. Multi-criteria decision support for geothermal resources exploration based on remote sensing, GIS and geophysical techniques along the Gulf of Suez coastal area, Egypt. *Geothermics*, *88*, p.101893.

Alias, M.A., Hashim, S.Z.M. and Samsudin, S., 2008. Multi criteria decision making and its applications: a literature review. *Jurnal Teknologi Maklumat*, *20*(2), pp.129-152.

Anonim, 2021. *Laporan Integrasi Data Akuisisi Geosains Daerah Panas Bumi Bittuang, Cisolok-Cisukarame, Nage, Gunung Endut, Sembalun, Gunung Tampomas, Gunung Ciremai, dan Daerah Panas Bumi Marana*. Bandung.

Baffoe, P.E. and Sarpong, D., 2016. Selecting suitable sites for wind energy development in Ghana. *Ghana Mining Journal*, *16*(1), pp.8-20.

Badan Informasi Spasial (BIG), 2023. Indonesia Geospatial Portal.

Brown, K.L., 2000; Environmental Safety and Health Issues, in *Geothermal Development: WGC2000 Short Courses*, p. 100.

Carranza, E.J.M. *et al.*, 2008. Spatial data analysis and integration for regional-scale geothermal potential mapping, West Java, Indonesia, *Geothermics*, 37(3), pp. 267–299.

Coro, G. and Trumpy, E., 2020. Predicting geographical suitability of geothermal power plants, *Journal of Cleaner Production*, 267, p. 121874.

Dezayes, C., Famin, V., Tourlière, B., Baltassat, J.M. and Bénard, B., 2022. Potential areas of interest for the development of geothermal energy in La Réunion Island based on GIS analysis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *421*, p.107450.

García-Estrada, G.H., López-Hernández, A. and León, J.L.Q., 2008. Selection of new drill sites using a Geographic Information System (GIS) at Los Azufres, Mexico, *Geotermia*, p. 43.

Gouareh, A., Settou, N., Khalfi, A., Recioui, B., Negrou, B., Rahmouni, S. and Dokkar, B., 2015. GIS-based analysis of hydrogen production from geothermal electricity using CO_2 as working fluid in Algeria. *International journal of hydrogen energy*, *40*(44), pp.15244-15253.

Jara-Alvear, J., De Wilde, T., Asimbaya, D., Urquizo, M., Ibarra, D., Graw, V. and Guzmán, P., 2023. Geothermal resource exploration in South America using an innovative GIS-based approach: A case study in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, *122*, p.104156.

Jensen, J.R. and Jensen, R.R., 2012. *Introductory geographic information systems*. Pearson Higher Ed.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2007. *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1937 K/30/MEM/2007 tentang Penetapan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi di Daerah Cisolok Cisukarame Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat*.

Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 1996. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor Kep-48/Menlh/11/1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan Menteri Negara Lingkungan Hidup*.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2015 tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Garis Sempadan Danau*. 28/PRT/M/2015.

Kiavarz, M. and Jelokhani-Niaraki, M., 2017. Geothermal prospectivity mapping using GIS-based Ordered Weighted Averaging approach: A case study in Japan's Akita and Iwate provinces, *Geothermics*, 70, pp. 295–304.

Manzella, A., Botteghi, S., Flovenz, O., Gola, G., Hersir, G.P., Limberger, J., Liotta, D., Santilano, A., Trumpy, E. and van Wees, J.D., 2019. Mapping super-critical geothermal resources in Europe. In *Proceedings of the European Geothermal Congress 2019* (pp. 1-5).

Mustofa, S.A., Hadi, M.N. and Candra, 2021; *Survei Rinci Geologi Daerah Panas Bumi Cisolok-Cisukarame Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat*. Bandung.

Noorollahi, Y. *et al.*, 2007a. GIS model for geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan, *Computers & geosciences*, 33(8), pp. 1008–1021.

Noorollahi, Y. *et al.*, 2007b. GIS model for geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan, *Computers & Geosciences*, 33(8), pp. 1008–1021.

Noorollahi, Y., Itoi, R., Fujii, H. and Tanaka, T., 2008. GIS integration model for geothermal exploration and well siting. *Geothermics*, *37*(2), pp.107-131.

Noorollahi, Y., Itoi, R., Fujii, H. and Tanaka, T., 2008. GIS integration model for geothermal exploration and well siting. *Geothermics*, *37*(2), pp.107-131.

Noorollahi, Y., Ghasempour, R. and Jalilinasrabady, S., 2015. A GIS based integration method for geothermal resources exploration and site selection, *Energy Exploration & Exploitation*, 33(2), pp. 243–257.

Nugraha, H.S.Permana, L.A. and Sukaesih, 2021. Analisis Citra Satelit Landsat 8 dan DEMNAS Untuk Identifikasi Prospek Panas Bumi di Kabupaten Aceh Tengah, Provinsi Aceh, *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(3), pp. 166–184.

Omwenga, B., Katana, C., Rutto, E. and Musyoka, C., 2019. Integration of Geological Modelling Approach and GIS in Exploration and Well Targeting in the Olkaria Geothermal Area.

Omwenga, B.M., 2020. Geothermal Well Site Suitability Selection Using Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing: Case Study of the Eburru Geothermal Field. In *45th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering* (Vol. 1, pp. 1-6).

Ozsahin, D.U., Gökcekus, H., Uzun, B. and LaMoreaux, J.W. eds., 2021. *Application of multi-criteria decision analysis in environmental and civil engineering* (pp. 37-41). Cham, Switzerland: Springer.

Pusat Pengelolaan dan Penyebarluasan Informasi Geospasial Badan Informasi Geospasial (BIG), 2023.*Ina-Geoportal*.

Sadeghi, B. and Khalajmasoumi, M., 2015. A futuristic review for evaluation of geothermal potentials using fuzzy logic and binary index overlay in GIS environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *43*, pp.818-831.

Yalcin, M. and Gul, F.K., 2017. A GIS-based multi criteria decision analysis approach for exploring geothermal resources: Akarcay basin (Afyonkarahisar), *Geothermics*, 67, pp. 18–28.

Yousefi, H. and Ehara, S., 2008. GIS Integration Method for Geothermal Power Plant Siteing in Sabalan Area, NW Iran, in *Proceedings, Thirty-Third Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University*, pp. 28–30.

Yousefi-Sahzabi, A., Sasaki, K., Yousefi, H., Pirasteh, S. and Sugai, Y., 2011. GIS aided prediction of CO2 emission dispersion from geothermal electricity production. *Journal of Cleaner Production*, *19*(17-18), pp.1982-1993.

Zaher, M.A., Saibi, H., Mansour, K., Khalil, A. and Soliman, M., 2018. Geothermal exploration using airborne gravity and magnetic data at Siwa Oasis, Western Desert, Egypt. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*, pp.3824-3832.

Diterima	: 25 Agustus 2023
Direvisi	: 4 September 2023
Disetujui	: 30 November 2023

UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas kerjasamanya dalam proses review lima makalah untuk edisi ketiga Buletin Sumber Daya Geologi tahun 2023. Secara khusus, kami mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bestari yang berkontribusi sesuai keahliannya, antara lain Prof. Dr. Ir. Binarko Santoso, M.Sc; Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D; Prof. Euis Tintin Yuningsih, S.T., M.T., Ph.D; Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc; Dr. Eng, Ir. Agus Didit Haryanto, M.T; Ir. Sabtanto Joko Suprapto, M.T; Ir. Bambang Pardiarto; Ir. Teuku Ishlah; Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi, Ir. Asep Suryana. Dr. Asep Kurnia Permana. ST, MT.

Kami mengucapkan terima kasih kepada para penulis yang telah mengirimkan makalah ilmiahnya kepada sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi. Selain itu, ucapan terimakasih diucapkan kepada para kontributor foto yang telah berpartisipasi untuk mengisi Galeri Foto.

Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada semua unsur Dewan Redaksi dalam proses penyusunan dan penerbitan Buletin Sumber Daya Geologi Volume.18 Nomor.3, Tahun 2023. Semoga hadirnya Buletin Sumber Daya Geologi kepada masyarakat dan pihak-pihak yang berkepentingan dalam bentuk cetakan maupun digital secara *online* dapat memberikan informasi yang bermanfaat dan akurat tentang potensi sumber daya mineral dan energi di Indonesia.

Salam sehat dan selalu semangat.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 18 Nomor 3 Tahun 2023 ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

Andhi Cahyadi
PT Sebuku Iron Lateritic Ores
Email: andye_97@yahoo.com

Andre Rahmat Al Ansory
Universitas Bengkulu
Email: andrerahmat56@gmail.com

Arif Ismul Hadi
Universitas Bengkulu
Email: ismulhadi@unib.ac.id

Ayumi Hana Putri Ramadhani
Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung
Email: ayumihana45@gmail.com

Budi Harlianto
Universitas Bengkulu
Email: budiharlianto@gmail.com

Dadan Wildan
Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung
Email: dadanwildan2000@yahoo.com

Dwi Nugroho Sunuhadi
Badan Riset dan Inovasi Nasional
Email: dwisunuhadi@yahoo.com

Ernowo
Badan Riset dan Inovasi Nasional
Email: ernowo99@gmail.com

Faritz Bagda Maghribi
Universitas Bengkulu
Email: faritz.maghribi12@gmail.com

Fasya Zahra Fauziyyah Ramdani
Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung
Email: fasyazahrafr@gmail.com

Hana Raihana
Universitas Bengkulu
Email: hanareyhana15@gmail.com

Halauddin
Universitas Bengkulu
Email: halaukualasatu@gmail.com

Husin Setia Nugraha
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
Email: husin.nugraha@esdm.go.id

Muchammad Farid
Universitas Bengkulu
Email: mfarid@unib.ac.id

Nanang Sugianto
Universitas Bengkulu
Email: nanang.s@unib.ac.id

Reynold Tampubolon
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
Email: reynold.tampubolon@esdm.go.id

Rina Wahyuningsih
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
Email: rina.wahyuningsih@esdm.go.id

Suwahyadi
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
Email: suwahyadi@esdm.go.id

Tatik Handayani
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
Email: hanitatik@gmail.com

Teuku Ishlah
Badan Riset dan Inovasi Nasional
Email: teukuishlah@gmail.com

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 18 Nomor 3 Tahun 2023 ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

Vinki Loverly Pritama
Universitas Bengkulu
Email: vinkyloverly@gmail.com

Wahyu Widodo
Badan Riset dan Inovasi Nasional
Email: wied_56@yahoo.com

Welly Saputri
Universitas Bengkulu
Email: wellysapitri91@gmail.com

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 18 Nomor 3 Tahun 2023 ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS KATA KUNCI

Bijih besi 156, 173, 183-187, 189, 191, 193, 195, 196
Caprock 145, 150, 151, 201
Crude sand 155, 156, 160-162, 168
Derajat lateritisasi 171, 173, 175-179, 181, 182
Endapan laterit 173, 182-184, 186-191, 195
Fe-Ni-Co 171-173, 175, 177, 179, 181, 182
Geokimia 153, 175, 183, 184, 186, 189, 192, 195, 199, 208
Geothermal 145, 153, 154, 197, 198, 213-215
Harsburgit 171, 173, 175-179, 181, 182
Hot rock 145, 150, 151
Konsentrat 155, 159, 161
Limonit 171-173, 175-180, 182, 183, 186-191, 195
Magnetotellurik 145, 146, 148, 149, 153, 154
Mineralogi 155, 157, 182-184, 190, 196
Pasir besi 155-157, 159-169
Pemodelan SIG 197-201, 203, 205, 207, 209, 211, 213, 215
Pengeboran 155, 157, 159, 160, 163, 167, 174, 175, 186, 188, 197, 199-204, 208-211, 213
Reservoir 145, 146, 150, 151, 197, 200, 201, 206, 208, 209, 211, 213, 215
Resistivitas 145, 147, 149-153, 201
Prospek Cisolok-Cisukarame 197, 211
Saprolit 171-173, 175-180, 183, 186-191, 195
Sumber daya tereka 155, 160, 168
Sumur eksplorasi panas bumi 197, 199-201, 203-207, 209-213, 215
Tambang sawah 145-147, 149-151, 153
Tapak sumur slimhole 197
Vector overlaying Boolean 197, 198, 200

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : November 2023 ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

Andre Rahmat Al Ansory, Hana Raihana, Vinki Loverly Pritama, Wellly Saputri, Faritz Bagda Maghribi, Halauddin, Budi Harlianto, Muchammad Farid, dan Arif Ismul Hadi Nanang Sugianto
(Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu)

DELINEASI NILAI RESISTIVITAS DI LAPANGAN PANAS BUMI TAMBANG SAWAH MENGGUNAKAN METODE MAGNETOTELLURIK

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2023 Vol. 18 No. 3 Hal. 145 - 154

Gambaran struktur bawah permukaan lapangan panas bumi Desa Tambang Sawah telah terpetakan. Penelitian ini bertujuan untuk mendelineasi nilai resistivitas di daerah Desa Tambang Sawah, Kabupaten Lebong, Provinsi Bengkulu berdasarkan pengukuran magnetotellurik yang hasilnya nanti dapat mengidentifikasi nilai resistivitas rendah, menengah, dan tinggi untuk menginterpretasikan panasbumi di daerah penelitian tersebut. Metode magnetotelurik (MT) dengan sensor elektrik dan magnet digunakan untuk mengumpulkan data di lapangan. Ada dua sensor listrik berarah horizontal (Ex, Ey) dan tiga buah sensor magnetik yang berarah horizontal (Hx, Hy) dan vertikal (Hz). Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah nilai resistivitas 20ohm.m sampai dengan 50 ohm.m dianggap sebagai reservoir, sedangkan resistivitas 0,26ohm.m sampai dengan 0,8 ohm.m dianggap sebagai caprock, dan resistivitas lebih besar dari 300 ohm.m dianggap sebagai batuan sumber panas (hot rock).

Kata kunci: geothermal, magnetotellurik, resistivitas, reservoir, caprock, hot rock, Tambang Sawah

Teuku Ishlah[1], Suwahyadi[2], dan Dwi Nugroho Sunuhadi[1]
([1]Pusat Riset Sumber Daya Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, [2]Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi)

SUMBER DAYA DAN KARAKTERISTIK ENDAPAN PASIR BESI DI CIHERAS, KABUPATEN TASIKMALAYA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2023 Vol. 18 No. 3 Hal. 155 - 169

Besi termasuk komoditas logam yang banyak dipakai dalam peradaban umat manusia, dan kini digunakan untuk bahan baku untuk pembuatan baja dan campuran bahan baku semen. Oleh karenanya, kegiatan penelitian endapan pasir besi masih diperlukan terutama di daerah bekas tambang menarik untuk diteliti ulang, karena kenaikan harga logamnya, sehingga menurunkan kadar batas (cut off grade) untuk penambangan konsentrat pasir besi dan kemungkinan terdapatnya mineral lain yang bernilai tinggi.

Lokasi penelitian terletak di Desa Ciheras Kecamatan Cipatujah meliputi Blok Ciheras-1, Blok Ciheras-2, dan Blok Cikalong Desa Cikadu, Kecamatan Cikalong, Kabupaten Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui keterdapatan, kualitas, dan estimasi sumber daya tereka endapan pasir besi (crude sand).

Penelitian menggunakan metoda pemetaaan geologi, dan pengambilan sampel dengan bor tangan (hand auger) berjarak antar titik pengeboran 400 meter searah base line dan 40 meter searah cross line. Sebanyak 71 titik pengeboran dilakukan dengan kedalaman antara 2,0 meter sampai dengan 4,0 meter dan diambil sampel pasir besi untuk dianalisa laboratorium meliputi berat jenis (BJ), persentase kemagnetan (MD), analisis ayak/fraksi butir, analisis mineralogi butir, XRF, AAS, dan kolorimetri.

Hasil estimasi sumber daya tereka pasir besi Blok Ciheras-1 sebesar 257.138 ton, Blok Ciheras-2 sebesar 512.199 ton, dan Blok Cikalong sebesar 491.970 ton, sehingga jumlah seluruhnya sebesar 1.261.308 ton. Persentase kemagnetan rata-rata di Blok Ciheras-1; 24,02%, Blok Ciheras-2; 14,7%, dan Blok Cikalong; 8,01%. Endapan pasir besi ini berasal dari batuan dan abu letusan gunung api yang ditansportasi air sungai ke muara dan diendapkan di pantai. Unsur bernilai ekonomi tinggi berupa Titanium dan Vanadium dalam endapan pasir pantai di daerah penelitian yang kadar dan keterdapatannya sebanding dengan unsur Fe.

Kata kunci: pasir besi, crude sand, konsentrat, pengeboran, sumber daya tereka

Fasya Zahra Fauziyyah Ramdani[1], Ayumi Hana Putri Ramdhani[1], Andhi Cahyadi[2], Wahyu Widodo[3], dan Ernowo[3]
([1]Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, [2]PT. Sebuku Iron Lateritic Ores, [3]Badan Riset dan Inovasi Nasional)

DERAJAT LATERITISASI DAN PENGAYAAN UNSUR FE-NI-CO PADA BATUAN HARSBURGIT DI PULAU SEBUKU, KALIMANTAN SELATAN

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2023 Vol. 18 No. 3 Hal. 171 - 182

Iklim tropis di Indonesia menyebabkan tingginya tingkat pelapukan kimiawi atau lateritisasi pada batuan ultrabasa menghasilkan pengayaan unsur-unsur ekonomis diantaranya Fe, Ni dan Co yang terakumulasi pada zona limonit maupun saprolit. Penelitian ini dilakukan di Pulau Sebuku yang didominasi oleh batuan ultrabasa diantaranya adalah harsburgit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh derajat lateritisasi pada zona limonit, saprolit dan batuan asal terhadap pengayaan Fe, Ni dan Co. Sebanyak 95 sampel diambil dari 9 lubang bor dan dianalisis menggunakan XRF untuk mengetahui unsur utama dan unsur ekonomis. Derajat lateritisasi dihitung dari kandungan SiO2 dibagi dengan akumulasi total SiO2, Al2O3 dan Fe2O3 atau S/SAF indeks menggambarkan intensitas dari reaksi kimia. Nilai terendah dari S/SAF indeks menunjukkan derajat lateritisasi yang lebih tinggi. Masing-masing zona limonit, saprolit dan batuan dasar memiliki nilai indeks S/SAF berkisar dari 0,16 s.d. 0,58 (lateritisasi kuat), 0,27 s.d. 0,85 (lateritisasi sedang-kaolinisasi) dan 0,77 s.d. 1,24 (batuan induk). Zona dengan derajat lateritisasi kuat mengandung kadar Fe antara 36% s.d. 51%, Ni 0,80% s.d. 1,38 % dan Co 0,07% s.d. 1,17%. Harsburgit mengandung kadar Fe 4,86% s.d. 7,99%, Ni 0,20% s.d. 1,76% dan Co 0,005% s.d. 0,015%. Derajat lateritisasi di zona limonit lebih tinggi dibandingkan dengan zona saprolit dan batuan dasar harsburgit disebabkan oleh dekomposisi dari mineral silika, pembentukan mineral sekunder pembawa besi dan aluminium oksida-hidroksida.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : November 2023 ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

Derajat lateritisasi memiliki hubungan positif dengan pengayaan Fe dan Co, tetapi tidak berkorelasi terhadap pengayaan Ni.

Kata kunci: harsburgit, derajat lateritisasi, limonit, saprolit, Fe-Ni-Co

Ayumi Hana Putri Ramadhani[1], Andi Cahyadi[2], Tatik Handayani[3], Suwahyadi[3]
([1]Program Studi Teknologi Geologi, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, [2]PT Sebuku Iron Lateritic Ores, [3]Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi)

KARAKTERISTIK ENDAPAN BIJIH BESI LATERIT PADA BLOK BARAT DAN BLOK TIMUR PT SILO, KABUPATEN KOTABARU, KALIMANTAN SELATAN BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA DAN MINERALOGI

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2023 Vol. 18 No. 3 Hal. 183 - 196

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik endapan laterit pada Blok Barat dan Blok Timur Pulau Sebuku, Kabupaten Kotabaru, Kalimantan Selatan dengan menggunakan metode observasi lapangan, dan analisis laboratorium meliputi analisis titrasi, XRF, XRD dan petrografi. Karakteristik endapan laterit Blok Barat memiliki kedalaman 10 meter s.d 15 meter. Zona red limonit memiliki kandungan Fe 51,25% dengan komposisi mineral hematit, magnetit, goethite, ilmenit, spinel. Zona yellow limonit memiliki kandungan Fe 50,1% dengan komposisi mineral goethite, hematit, gibsit, ilmenit. Zona saprolit memiliki kandungan Fe 16,2% komposisi mineral hematit, krisotil, goethite, garnet, diopside. Karakteristik endapan laterit Blok Timur yaitu memiliki kedalaman 6 meter s.d 7,5 meter. Zona red limonit memiliki kandungan Fe 47,38% dengan komposisi mineral hematit, goethite, ilmenit, spinel. Zona yellow limonit memiliki kandungan Fe 38,70% dengan komposisi mineral goethite, hematit, chromite, gibsit, spinel. Zona saprolit memiliki kandungan Fe 15,08% komposisi mineral hematit, goethite, diopside, fayalite. Batuan dasar (Bedrock) daerah penelitian berupa periodotit yaitu dunit dan harzburgit yang telah terserpentinisasi. Komposisi mineral batuan dasar yaitu olivin, piroksen, mineral opak serta beberapa mineral sekunder yaitu serpentin dan talk. Batuan dasar Blok Barat memiliki kandungan Fe sekitar 7,73% s.d 8,03% sedangkan batuan dasar Blok Timur memiliki kandungan Fe sekitar 6,59% s.d 7,49%.

Kata kunci: endapan laterit, bijih besi, geokimia, mineralogi

Husin Setia Nugraha[1], Dadan Wildan[2], Rina Wahyuningsih[1], dan Reynold Tampubolon[1]
([1]Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, [2]Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung)

REKOMENDASI AREA LOKASI TAPAK SUMUR EKSPLORASI PANAS BUMI MENGGUNAKAN PEMODELAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI DAERAH PROSPEK CISOLOK-CISUKARAME, SUKABUMI, JAWA BARAT

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2023 Vol. 18 No. 3 Hal. 197 - 215

Pemanfaatan pemodelan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam pengembangan sumber daya panas bumi telah banyak dilakukan mulai dari tahap survei awal, eksplorasi hingga eksploitasi atau produksi. Tujuan pemodelan SIG ini adalah untuk mendelineasi lokasi tertentu yang dianggap memiliki prospek bumi atau cocok untuk fasilitas produksi lapangan panas bumi. Studi ini bertujuan mendapatkan peta area rekomendasi tapak sumur (wellpad) untuk lokasi pengeboran sumur eksplorasi panas bumi yang optimal dengan mempertimbangkan parameter teknis dan non teknis. Studi ini dilakukan di area prospek panas bumi Cisolok-Cisukarame di Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Peta tersebut dihasilkan dengan mengintegrasikan delapan parameter yang akan mempengaruhi besarnya biaya pengeboran, yaitu area prospek, kemiringan lahan, kedalaman puncak reservoir, struktur geologi, sumber air, jalan akses, area pemukiman, area manifestasi permukaan, dan area cagar budaya. Pada tahap awal, terhadap parameter-parameter tersebut dilakukan pembuatan area bufer dan klasifikasi dengan rentang nilai tertentu berdasarkan beberapa pertimbangan. Selanjutnya dilakukan integrasi data spasial menggunakan operasi vector overlaying Boolean. Hasilnya adalah peta area rekomendasi tapak sumur eksplorasi panas bumi Daerah Cisolok-Cisukarame dengan luas sekitar 6,31 km2 (19,62 % dari luas area prospek P90). Dengan menggunakan grid jala ukuran 120 meter menghasilkan delapan area kluster besar dan lima area kluster kecil yang cocok sebagai tapak sumur lubang standar. Sedangkan dengan ukuran grid jala 50 meter menghasilkan jumlah kluster yang sama dan lima kluster lain yang lebih kecil. Hasil studi ini dapat dijadikan sebagai rekomendasi area untuk dijadikan lokasi tapak sumur dan perencanaan kegiatan survei lapangan selanjutnya seperti survei geoteknik dan survei infrastruktur.

Kata kunci: pemodelan SIG, sumur eksplorasi panas bumi, tapak sumur slimhole, vector overlaying Boolean, Prospek Cisolok-Cisukarame



Pesona Black Lava Gunungapi Batur yang terpisahkan oleh jalan raya
di Kabupaten Bangli, Bali. (Eko Suryanto, 2023)



Pesona Black Lava yang mengarah ke perbukitan Gunungapi Batur
di Kabupaten Bangli, Bali. (Eko Suryanto, 2023)



Potensi Bahan Galian C berupa pasir dan batu yang berdampingan dengan perkebunan warga di sekitar Gunungapi Batur, Kabupaten Bangli, Bali.
(Eko Suryanto, 2023)



Kenampakan Danau Batur yang berada di dalam kaldera Gunungapi Batur, Kabupaten Bangli, Bali. (Eko Suryanto, 2023)



Kenampakan perkebunan warga yang memanfaatkan tanah vulkanik Gunungapi Batur, Kabupaten Bangli, Bali. (Eko Suryanto, 2023)



Pura Segara Ulun dengan dominasi ornamen dari batuan sedimen, berada di Danau Batur dengan latar perbukitan Gunungapi Batur Kabupaten Bangli, Bali. (Eko Suryanto, 2023)



Lokasi penggalian batu pecah yang berasal dari batugamping terkekarkan di daerah Nagari Muara Pingai, Kecamatan Junjung Sirih, Kabupaten Solok. (Irwan Muksin, 2023)



Dolomit dengan kadar MgO 19,00% dan whiteness 76,83% di Desa Sedayulawas, Kecamatan Brondong, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. (Irwan Muksin, 2023)



Pasir Kuarsa Formasi Dahor Desa Tumbang Randang, Kecamatan Timpah, Kabupaten Kapuas, Kalimantan Tengah. (Irwan Muksin, 2023)



Persiapan peralatan kegiatan pengeboran dan Landaian Suhu Daerah Panas Bumi Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. (Andy H Koes, 2023) (2)



Persiapan peralatan kegiatan pengeboran dan Landaian Suhu
Daerah Panas Bumi Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten.
(Andy H Koes, 2023)



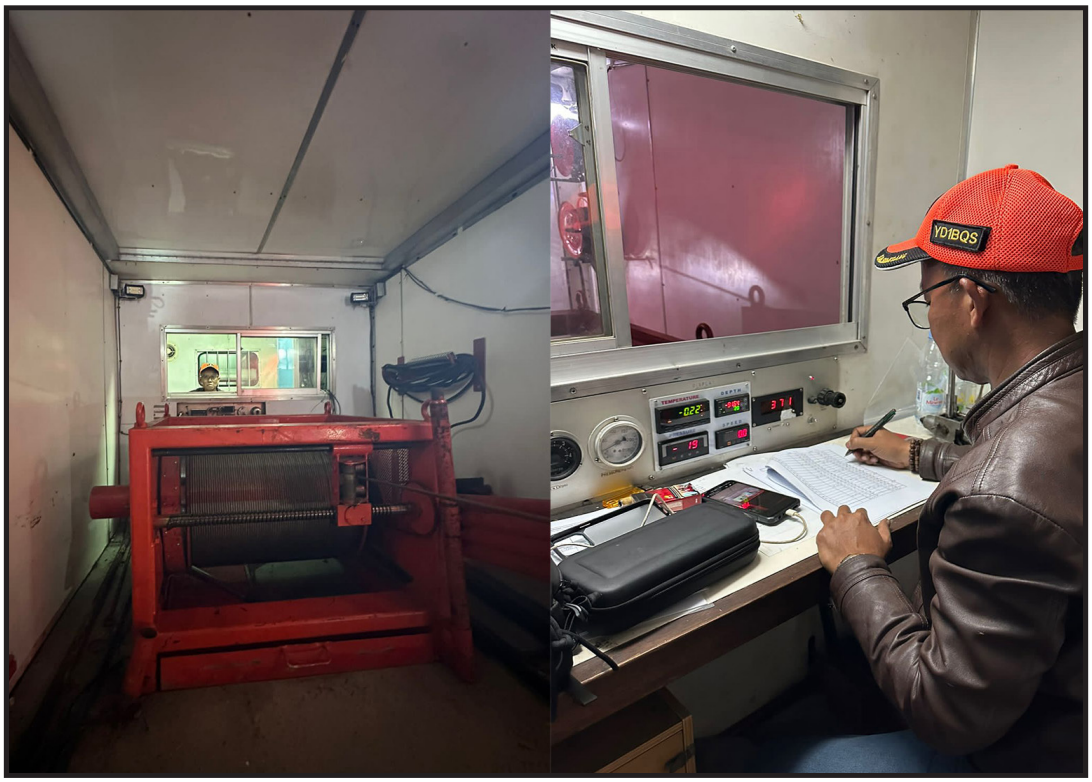
Preparasi inti bor pada kegiatan pengeboran dan Landaian Suhu
Daerah Panas Bumi Gunung Endut, Kabupaten Lebak Provinsi Banten.
(Andy H Koes, 2023)



Singkapan batubara dengan sisipan batulempung daerah Sungai Akar, Indragiri Hulu, Provinsi Riau. (Sigit Arso Wibisono, 2023)



Singkapan batubara daerah Sungai Akar, Kabupaten Indragiri Hulu, Provinsi Riau. (Sigit Arso Wibisono, 2023)



Kegiatan Logging Tim Pengeboran dan Survei Landaian Suhu
Daerah Panas Bumi Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten.
(Uju Darsita, 2023)



Kegiatan Logging Tim Pengeboran dan Survei Landaian Suhu
Daerah Panas Bumi Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten.
(Uju Darsita, 2023)



Batugamping yang terimpregnasi oleh aspal, Desa Kamaru Pulau Buton.
(Sigit Arso Wibisono, 2022)



Batupasir yang terimpregnasi oleh Aspal, Desa Hendia Pulau Buton.
(Sigit Arso Wibisono, 2022)



Rembesan Aspal, Desa Bubu Pulau Buton.
(Sigit Arso Wibisono, 2022)



Kenampakan lapisan batubara di Kabupaten Musi Banyu Asin, Provinsi Sumatera Selatan.
(Soleh Basuki Rahmat, 2022)

PEDOMAN PENULISAN

Makalah/Karya Tulis Ilmiah
BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

ISI DAN KRITERIA UMUM

Naskah makalah/karya tulis ilmiah untuk publikasi di Buletin Sumber Daya Geologi dapat berupa artikel hasil penelitian, ulas balik (*review*) dan ulasan/tinjauan (*feature*) tentang geologi baik sains maupun terapan terutama berkaitan dengan tugas pokok dan fungsi Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Naskah yang diajukan belum pernah dipublikasikan atau tidak sedang diajukan pada publikasi lain.

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau Inggris sesuai kaidah masing-masing bahasa yang digunakan. Judul naskah ditulis dengan huruf besar (*capital*) di tengah atas halaman dan di cetak tebal (*bold*). Naskah harus selalu dilengkapi dengan Sari dalam bahasa Indonesia dan *Abstract* dalam bahasa Inggris. Kata-kata bahasa asing yang tidak dapat dialih bahasa/disadur dicantumkan dalam bentuk asli dan ditulis dengan huruf miring (*italic font*).

FORMAT

UMUM

Seluruh bagian dari naskah termasuk Sari, *Abstract,* judul tabel dan gambar, catatan kaki tabel, keterangan gambar dan daftar acuan diketik satu spasi dalam bentuk *electronic file* dan dicetak pada kertas HVS A4; menggunakan huruf Arial berukuran 11 *point*. Setiap lembar tulisan dalam naskah diberi nomor halaman dengan jumlah maksimum 15 halaman termasuk tabel dan gambar. Susunan naskah dibuat sebagai berikut:

NO	POKOK BAHASAN	POKOK PIKIRAN
I	**Judul** (*Title*)	Pada halaman judul makalah/karya tulis dicantumkan nama setiap penulis dengan jumlah penulis maksimum 5 orang, nama dan alamat institusi bagi masing-masing penulis; disarankan dibuat catatan kaki yang berisi nomor telepon, faxcimile serta email.
II	**Abstrak dan *Abstract***	Berisi ringkasan pokok bahasan lengkap dari keseluruhan isi naskah seperti latar belakang (yaitu berupa alasan ilmiah ataupun alasan keperluan penting mengapa tulisan ini dipublikasikan), obyek yang diteliti, permasalahan riset, tujuan riset, kegunaan hasil riset, metode yang digunakan dalam mencapai solusi riset tanpa harus memberikan keterangan terlalu rinci dari setiap bab, dengan jumlah maksimum 250 kata. Abstrak dicantumkan terlebih dahulu apabila naskah berbahasa Indonesia, sementara *Abstract* tercantum di bawah Abstrak; dan berlaku sebaliknya apabila naskah ditulis dalam bahasa Inggris. Disarankan disertai kata kunci/*keyword* yang ditulis di bawah Abstrak/*Abstract*, terdiri dari 4 hingga 6 kata. *Abstract* atau abstrak yang ditulis di bawah abstrak atau *abstract* menggunakan *italic font*.

III	**Pendahuluan** *(Introduction)*	Bab ini dapat berisi latar belakang (alasan ilmiah dan maksud penelitian fenomena aktual bermasalah sebagai tema sentral penelitian), masalah aktual yang perlu solusi, pengantar tentang profil wilayah/lokasi kajian/riset, tujuan penelitian, spesifik, metode riset, hipotesis (kalau ada) dengan gaya bahasa lebih populer dengan bab dan sub-bab tidak perlu menggunakan nomor. Bab berisi pernyataan yang mencukupi sehingga pembaca dapat memahami dan mengevaluasi hasil penyelidikan/penelitian yang berkaitan dengan topik makalah/karya tulis.
IV	**Metodologi** *(Methodology)*	Metode yang digunakan harus spesifik dan jelas, mencakup uji-uji hipotesis atau model-model uji statistik, dapat menghimpun data primer/*sampling*, cara pengukuran dan komputasi.
V	**Hasil dan Pembahasan** (*Results and Discussion*)	Berisi hasil-hasil penyelidikan/penelitian yang disajikan dengan tulisan, tabel, grafik, gambar maupun foto diberi nomor secara berurutan. Hindarkan penggunaan grafik secara berlebihan apabila dapat disajikan dengan tulisan secara singkat. Pencantuman foto atau gambar tidak berlebihan dan hanya mewakili hasil penemuan. Semua tabel, grafik gambar dan foto yang disajikan harus diacu dalam tulisan dengan keterangan yang jelas dan dapat dibaca. *Font* huruf/angka untuk keterangan tabel, gambar dan foto berukuran minimum 6 *point.* Berisi tentang analisis/interpretasi dan bahasan singkat mengenai penjabaran hasil verifikasi/validasi yang ditekankan kepada kejelasan penelitian, keterlibatan aneka variabel dan peristiwa atau produk dari penelitian tersebut.
VI	**Kesimpulan dan Saran** (*Conclusions and Recommendation*)	Berisi kesimpulan dan saran dari hasil uji hipotesis tentang penelitian, dan berisi segitiga konsistensi (masalah, tujuan dan kesimpulan).
VII	**Ucapan Terima Kasih** (*Acknowledgements)*	Dapat digunakan untuk menyebutkan sumber dana penyelidikan/penelitian dan untuk pernyataan penghargaan kepada institusi atau orang yang membantu dalam pelaksanaan penyelidikan/penelitian dan penulisan makalah/karya tulis.
VIII	**Acuan** (*References*)	Acuan ditulis dengan menggunakan sistem nama tahun, nama penulis/pengarang yang tercantum didahului oleh nama akhir (*surname*), disusun menurut abjad dan judul makalah/karya tulis ditulis dengan huruf miring (*italic font*)

Beberapa contoh penulisan sumber acuan:

Jurnal

Harvey, R.D. dan Dillon, J.W., 1985. *Maceral distribution in Illinois cals and their palaeoenvironmental implication*. International Journal of Coal Geology, 5, h.141-165.

Buku

Petters, W.C., 1987. Exploration and Mining Geology. John Willey & Sons, New York, 685 h.

Bab dalam Buku

Chen, C.H., 1970. Geology and geothermal power potential of the Tatun volcanic region. Di dalam : Barnes, H.L. (ed.), 1979. Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, h.632-683.

Prosiding

Suwarna, N. dan Suminto, 1999. *Sedimentology and Hydrocarbon Potential of the Permian Mengkarang Formation, Southern Sumatera*. Proceedings Southeast Asian Coal Geology, Bandung.

Skripsi/Tesis/Disertasi

DAM, M.A.C., 1994. The Late Quarternary evolution of The Bandung Basin, West Java, Indonesia. Ph.D Thesis at Dept. of Quarternary Geology Faculty of Earth Science Vrije Universitet Amsterdam, h.1-12.

Informasi dari Internet

Cantrell, C., 2006. Sri Lanka's tsunami drive blossom : Local man's effort keeps on giving.Http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankas_tsunami_ Drive_blossoms/[26 Jan 2006].

Wewenang Redaksi

- Redaksi berwenang penuh melakukan penyuntingan atas naskah yang akan dipublikasikan tanpa mengubah subtansi isi naskah.
- Redaksi mempunyai hak dan wewenang penuh untuk menolak naskah dengan isi dan format yang tidak sesuai dengan pedoman penulisan Buletin Sumber Daya Geologi dan tidak berkewajiban untuk mengembalikan naskah tersebut.

Pengiriman Naskah

Penulis dimohon untuk mengirimkan 1 eksemplar naskah asli baik *hardcopy* maupun *softcopy* kepada:

Sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi
Bagian Umum, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung, 40254
Telepon. (022) 520 2698, 522 6270
Fax. (022) 522 6270, 522 6263
Email: buletinpsdg@gmail.com
OJS: http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id

Semua tulisan yang ada dalam **Buletin Sumber Daya Geologi** bukan merupakan cerminan sikap dan atau pendapat **Dewan Redaksi Buletin Sumber Daya Geologi**.
Tanggung jawab terhadap isi atau akibat dari tulisan tetap terletak pada penulis.

SERTIFIKAT

Kementerian Riset dan Teknologi/
Badan Riset dan Inovasi Nasional

RISTEK-BRIN

Petikan dari Keputusan Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional
Nomor 200/M/KPT/2020
Peringkat Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode III Tahun 2020
Nama Jurnal Ilmiah

Buletin Sumber Daya Geologi

E-ISSN: 25801023

Penerbit: Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah

TERAKREDITASI PERINGKAT 2

Akreditasi Berlaku selama 5 (lima) Tahun, yaitu
Volume 15 Nomor 2 Tahun 2020 sampai Volume 20 Nomor 1 Tahun 2025

Jakarta, 23 Desember 2020
Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional
Republik Indonesia,

Bambang P. S. Brodjonegoro

Alamat Redaksi
Buletin Sumber Daya Geologi
Bagian Umum, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Tel. (022) 522 6270, 520 2698, Fax: (022) 522 6263
Website : http://psdg.geologi.esdm.go.id
OJS: http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id
Email: buletinpsdg@gmail.com

ISSN 1907-5367
9 771907 536770

eISSN 2580-1023
9 772580 102009